

TRAITÉ

DE

L'HÉLICE PROPULSIVE



TYPOGRAPHIE DE CH. LAHURE
Imprimeur du Sénat et de la Cour de Cassation
rue de Vaugirard, 9

TRAITÉ

DE

L'HÉLICE PROPULSIVE

PUBLIÉ SOUS LES AUSPICES

de S. Exc. M. DUCOS, Ministre de la Marine et des Colonies

PAR E. PARIS

CAPITAINE DE VAISSEAU, AUTEUR DU DICTIONNAIRE DE MARINE A VAPEUR

CONTENANT

Première Partie.

Contenant la Traduction de l'ouvrage anglais, *Treatise on the screw propeller, by John Bourne.*

1° Précis historique ;
2° Introduction pratique de l'hélice ;
3° Principes scientifiques ;
4° Effets comparatifs des aubes et de l'hélice ;
5° Valeur comparative de différentes hélices ;
6° Navires à hélice à grande puissance ;
7° Navires mixtes ou à puissance auxiliaire ;
8° Navires à hélice sur les canaux ;
9° Comparaison de différentes machines à hélice ;
10° Détails de la construction des machines et des navires à hélice.

Deuxième Partie.

1° Tracé et confection des hélices ;
2° Installation à bord des navires des hélices et de leurs machines ;
3° Navires à hélice en Angleterre ;
4° Paquebots à hélice ;
5° Navires à hélice en France ;
6° Considérations générales sur les navires à hélice ;
7° Conditions générales des machines à hélice ;
8° Note sur les machines à vapeur combinées ;
9° Note sur les machines à air chaud ;
10° Tables d'utilisation économique et théorique.

accompagné de 45 planches




PARIS

ARTHUS BERTRAND, ÉDITEUR

Libraire de la Société de géographie, rue Hautefeuille, 21

DE L'IMPRIMERIE DE CH. LAHURE

1855



PRÉFACE.

Les inventions les plus importantes se succèdent avec une telle rapidité, qu'elles entraînent constamment à de nouvelles études et à délaisser un passé presque présent encore, pour suivre des perfectionnements toujours nouveaux. Le navire à vapeur comptait peu d'années, et cependant il présentait des résultats remarquables avec ses roues à aubes, lorsque l'hélice, essayée dans l'obscurité par des inventeurs ingénieux, est venue tout à coup montrer ses avantages et inspirer aux marins des espérances que l'emploi des aubes ne permettait pas de former. Avec ce propulseur sous-marin, toutes les qualités nautiques et militaires se trouvèrent réunies; tandis qu'avec l'ancien mode, elles n'existaient qu'aux dépens les unes des autres et se nuisaient au point d'avoir empêché la réalisation d'un navire à vapeur réellement disposé pour la mer et pour le combat. Aussi dès que le nouveau propulseur se fit connaître par le voyage de *l'Archimède* autour de la Grande-Bretagne, il fut adopté avec empressement et aussitôt étudié avec soin, en Angleterre, par des comparaisons avec les anciennes aubes, et en France par des expériences approfondies pour trouver ses meilleures proportions.

Le navire mixte, c'est-à-dire celui qui réunit toutes les qualités de bon voilier à celles du vapeur marchant de calme ou contre le vent, a été réalisé par l'emploi de l'hélice; tandis qu'il était impraticable avec les roues. Le vent et la vapeur ont tellement concouru au grand but de la navigation que la distinction des deux sortes de navires, jadis aussi tranchée que celle des galères et des vaisseaux ronds, se trouve disparaître chaque jour. Tous les navires tendent à employer l'hélice qui, par son mode d'action, s'assortit aussi bien au rôle d'auxiliaire à faible puissance, qu'à celui du moteur principal qui entraîne les plus rapides paquebots. Sa combinaison avec les voiles a permis de transporter les marchandises à moins de frais qu'avec ces dernières seules, et ses avantages commerciaux et militaires l'ont fait adapter non-seulement aux nouvelles con-

structions, mais aussi ajouter aux anciennes, pour leur donner des qualités inespérées.

Certes, ces résultats sont trop beaux pour ne pas s'empresser d'en profiter, mais ils donnent à la navigation une monotonie qui détruit en partie son charme : aussi, tout en admirant le nouveau navire, le marin ne peut s'empêcher de jeter un coup d'œil de regret vers un passé plus poétique par ses incertitudes et ses luttes continuelles, et il se résigne à suivre sur mer la ligne droite, comme la locomotive qui glisse machinalement entre les rails.

Cependant le souvenir de l'ancienne navigation et des voyages de découvertes ne saurait détourner de l'étude du nouveau propulseur, et puisque ses avantages le font admettre, il faut en étudier les propriétés et les détails. En marine, la connaissance des objets qu'on emploie est le plus sûr moyen d'en tirer un bon parti, et c'est depuis que celle des machines s'est répandue, qu'on est arrivé à se servir de la vapeur d'une manière judicieuse.

Il est donc important de connaître les moyens nouvellement adoptés, et comme leur aspect est loin d'en faire apprécier les qualités, il était, je crois, trop utile de répandre ce que d'autres avaient écrit, et même ce que j'avais appris, pour que je ne fusse pas enhardi à entreprendre le long travail que je présente à la marine. Je le commençai par la traduction de ce que venait de publier un auteur anglais, déjà connu par de grands et utiles travaux sur les machines à vapeur, et j'entrepris de rendre *The treatise on the screw propeller*, que M. John Bourne fit paraître en 1852, et qu'il dédia à la mémoire de son père : *Le capitaine Bourne, de la marine royale anglaise, fondateur de la compagnie péninsulaire et le premier qui ait contracté des engagements avec le gouvernement pour le transport des dépêches par des navires à vapeur. L'art de la navigation par la vapeur doit beaucoup à ses talents et à l'esprit d'entreprise qui lui ont acquis l'estime générale.* Dans sa préface, il rappelle les changements qu'il croit utile d'effectuer dans la construction des navires à hélice pour corriger leurs défauts, et notamment celui de dépenser beaucoup de force en luttant contre les obstacles; il indique des perfectionnements dans leur charpente et propose de lubrifier pour ainsi dire les carènes par de l'air introduit sous l'avant. Son ouvrage renferme beaucoup de

documents intéressants., le résumé des expériences faites en Angleterre et de celles exécutées en France par MM. Bourgois et Moll. Il décrit succinctement les diverses machines à hélice, et présente les résultats économiques de l'emploi du nouveau propulseur pour le transport des marchandises. Enfin, il donne les tableaux des expériences des différents navires à hélice de la marine royale anglaise. J'ai cru devoir modifier le commencement de l'ouvrage de M. Bourne en supprimant de nombreuses gravures sur bois qui représentent toutes les inventions proposées pour la propulsion sous-marine. Cette collection n'offrait qu'un faible intérêt historique et augmentait beaucoup le volume de l'ouvrage. Aussi me suis-je borné au résumé succinct de toutes les inventions détaillées par M. Bourne. Tout le reste de son travail est traduit textuellemeut et sans commentaires : il forme la première partie de cette publication.

La nécessité de suivre le cours des inventions et de remplir quelques lacunes de l'ouvrage anglais, m'a engagé à remplacer une partie des planches de M. Bourne par les plaus détaillés des appareils les plus nouveaux exécutés en Angleterre et en France. Elle m'a également porté à rédiger une seconde partie destinée spécialement aux détails pratiques du tracé des hélices et de leurs dispositions diverses à bord des navires. J'y ai joint des considérations générales sur le nouveau genre de bâtiment que l'hélice porte à construire, et le résnmé des idées émises par le capitaine Halsted dans un ouvrage qui paraît être l'expression de ce qui a été effectué en Angleterre. Afin de faire connaître la transformation de la marine anglaise, j'ai recherché, dans diverses publications, la description et les résultats des vaisseaux les plus remarquables et des paquebots des services les plns éloignés ainsi que des petits navires du cabotage. Il était nécessaire d'entrer dans tous ces détails; car c'est depuis l'apparition de l'ouvrage de M. Bourne que les résultats les plus remarquables ont été obtenus. De nouvelles proportions ont modifié toutes les conditions des navires, et après avoir été confirmées par l'expérience pour ceux à hélice, elles se sont trouvées supérieures aux anciennes pour la navigation avec les voiles seules et ont entraîné à construire des navires gigantesques devenus possibles par l'emploi du fer et de l'hélice. Des vaisseaux redoutables par leur artillerie, et recélant dans leur cale un moteur invulnérable, ont été lancés. Enfin le vaisseau *le Napoléon* est apparu, réu-

nissant tout, force et vitesse, et entraînant ses 90 canons avec plus de rapidité que les paquebots consacrés à transporter quelques lettres à de courtes distances. Ce que les roues avaient ébauché, l'hélice est venue le compléter. De tels résultats sont trop beaux, pour n'avoir pas entraîné à les ajouter à ce qui existait en 1852 lorsque M. Bourne publia son traité.

Comme les machines motrices de l'hélice ont subi des modifications, je me suis appliqué à décrire les appareils les plus récents et à exposer vers la fin leurs différentes conditions, tant pour l'ensemble que pour les détails. Considérant l'utilisation du moteur d'une manière nouvelle, je l'ai rapportée à la cause première de la force, c'est-à-dire au combustible, et j'ai calculé des tables de ce genre d'utilisation pour les paquebots anglais, dont j'ai recueilli les détails principaux, pour les navires de la Marine française et pour ceux des Messageries impériales. Les moyennes ainsi obtenues offrent quelque intérêt pour la comparaison des grandeurs et des types des navires.

Enfin, comme chaque jour voit éclore de nouvelles applications à la marine, j'ai consacré un chapitre à faire connaître les machines à vapeur combinées de M. du Trembley, et un autre aux différents appareils à air chaud.

Cet ensemble a porté le *Traité de l'hélice* à un volume plus considérable que ne le comporterait un tel sujet s'il était traité isolément; mais tout se lie et se modifie mutuellement, et l'hélice a occasionné de tels changements dans les machines et même dans les navires, qu'on ne pourrait apprécier ses résultats généraux si on omettait tout ce qui s'y rattache si intimement.



TRAITÉ

DE

L'HÉLICE PROPULSIVE.



CHAPITRE PREMIER.

PRÉCIS HISTORIQUE.

Je me propose de consacrer ce chapitre à raconter les projets présentés à différentes époques pour faire marcher les navires au moyen d'une hélice. Je tâcherai d'écrire l'histoire de cette invention, autant que cela est utile ou qu'il est maintenant possible de le faire, et je rechercherai parmi les auteurs dont les ouvrages sont passés en revue, quels sont ceux auxquels doit être attribuée la réalisation pratique de cette idée. Les choses qui réussissent impliquent deux sortes de mérite : l'un consiste dans la conception ou la découverte des moyens de perfectionnement; l'autre demande surtout l'activité, la persistance nécessaires pour remédier aux imperfections d'un premier essai, dissiper les doutes des incrédules et surmonter l'inertie qui s'oppose aux nouveaux projets. Ce dernier mérite est celui qui dans beaucoup de cas, a droit à la plus grande admiration; car ses succès sont plus difficiles et plus rares que ceux des inventions purement abstraites. La réalisation pratique d'une idée mécanique produit seule une utilité générale; et comme les droits des inventeurs reposent sur la réciprocité d'avantages entre eux et le public, il est clair que la validité des brevets ne doit être reconnue que lorsqu'ils ont produit un résultat heureux. Toutefois lorsque ces cas se présentent, la reconnaissance de ce droit doit être prompte et sans équivoque, et il n'est pas plus

permis de lui opposer d'anciens titres inutiles, que s'ils n'avaient pas existé.

Il est probable que l'hélice propulsive est une invention très-ancienne. On dit qu'en Chine elle est connue depuis des siècles : mais en Europe elle semble avoir été imitée du moulin à vent, ou de la vis d'Archimède, dont l'ancienneté est reconnue, et qui est très-usitée dans certains pays pour élever l'eau.

Dans la soixante-dix-septième proposition des *Spiritalia* de Héron, écrits 130 ans avant Jésus-Christ, on trouve un moulin à vent, semblable à ceux usités maintenant : il servait à donner le vent à un orgue dans lequel l'air était refoulé par un piston plein ou plongeur. Dans l'Orient, on se servait du moulin à vent pour l'irrigation. Le smoke-jack[1] en est un poussé par le mouvement de l'air dans une cheminée. Quelques personnes croient que les cheminées sont une invention moderne; mais on en trouve des traces dans les monuments romains. Les foyers des bains en avaient, ainsi que ceux des *camini* ou fournaises métallurgiques, d'où vient probablement le mot de cheminée. Il y a peu de doute sur l'emploi des moulins à vent par les Romains : il est probable qu'ils ont été introduits en Europe par les croisés; car ce n'est qu'après les croisades qu'on voit des chartes accordées en France et en Angleterre pour leur établissement.

Il est maintenant presque certain que des bateaux à roues à aubes mues par des bœufs furent employés par les Carthaginois et par les Romains. En 1542, Blasco Garay, capitaine espagnol, proposa des roues et une machine à vapeur : en 1618 et 1630, David Ramsey prit une patente pour mouvoir les navires contre vent et marée. En 1632, Thomas Grent, en 1637, Francis Lin en prirent pour mouvoir le navire sans le secours des chevaux. En 1661, le marquis de Worcester obtint un brevet pour remonter les rapides en employant la force du courant. La même année, une patente fut donnée à Thomas Toogood et à James Hays, pour mouvoir les navires en refoulant l'eau par le fond. Papin, Savery, Allen, Hulls et quelques autres, proposèrent successivement divers arrangements pour faire marcher les navires par un appareil à vapeur, donnant le mouvement à des roues à aubes, et ce but fut atteint lorsqu'en perfectionnant la machine à vapeur, Watt permit d'effectuer avec avantage un mouvement de rotation.

[1] C'est une hélice placée dans une cheminée et qui, entraînée par le courant ascendant de la fumée, sert à tourner la broche.

Robert Hooke né en 1635 mort en 1702, l'un des hommes remarquables de son époque, eut l'idée d'employer des ailes de moulin à vent dans l'eau. Dans un livre intitulé *Philosophical collections*, il dit qu'il ne sait pas pourquoi les moulins à vent horizontaux ne valent pas les verticaux et il propose d'employer les premiers : il ajoute que pour que des voiles ou des ailes agissent efficacement, il faut : 1° Qu'elles soient aussi planes que possible; 2° Que l'air s'échappe par de nombreux passages entre les ailes ou les voiles, afin de ne pas gêner l'arrivée de celui qni est en monvement; 3° Que le plan de l'aile ou de la voile, soit placé dans nne inclinaison *moyenne entre la direction du vent et celle du bras, ou celle du corps du navire*. Il donne une figure de moulin horizontal, où il y a des ailes tournantes au moyen de pignons, semblables aux aubes articulées et il le regarde comme moins bon que le vertical ordinairement employé. Dans ce qu'il explique on retrouve les aubes articulées et son onvrage contient une gravure qui présente nne analogie frappante avec celles qu'on emploie maintenant. Il établit que leur plan, lorsqu'elles passent dans l'eau, doit avoir une inclinaison moyenne entre la vitesse du rayon et celle de l'eau.

Hooke donne également un dessin d'ailes de moulin entièrement immergées, qu'il propose pour utiliser les cours d'eau : mais ce problème n'est, à bien dire, que l'inverse de celni de la propnlsion, et ce qui est applicable à l'un ne sanrait manquer de l'être également à l'autre.

En 1683, Hooke montra à la Société royale un instrument pour mesurer la vitesse du vent; il ressemblait à nn moulin à vent et l'angle de ses ailes se modifiait à volonté : cet instrument fut essayé et donna de bons résultats. Il fit ensuite un log semblable à celui de Massey, qui, en outre de la vitesse, donnait la dérive du navire; mais cette invention a été perdne ainsi qne beaucoup d'autres. Il eut l'idée d'étager les engrenages, comme on le fait maintenant et de compenser les balanciers des montres.

Hooke expliqua d'une manière intéressante la manière de ramer à bord des anciennes galères, et il émit les opinions suivantes : 1° Que les rames ressemblaient aux nôtres, mais qn'elles étaient plus larges, plus plates, plus courtes, plus légères et maniées par un ou deux hommes; 2° Qu'elles étaient mues en travers de dehors en dedans et non alternativement de l'avant à l'arrière, comme nos avirons; de sorte qu'elles godillaient beaucoup plus qu'elles ne nageaient; 3° Qu'elles étaient verticales et servaient d'épontilles, quand le navire était à terre; 4° Qu'on ne

les sortait jamais de l'eau, mais qu'elles restaient toujours immergées ; 5° Qu'elles faisaient marcher toujours le navire, soit qu'on les poussât en dehors ou en dedans ; 6° Que les rameurs s'asseyaient rarement avec le visage vers l'arrière, mais qu'ils l'avaient quelquefois vers l'avant et presque toujours tourné en dehors ou en dedans. Il explique aussi de quelle manière il pensait que les rameurs étaient distribués et il conclut que, dans les navires de grande dimension, il y avait une très-vaste saillie de chaque côté pour permettre aux différentes rangées d'agir simultanément. Les rameurs mouvaient leurs rames en dehors et en dedans en godillant, et il est probable qu'une très-grande vitesse était obtenue par ce mode de propulsion. (1) Dans les bateaux modernes à rames horizontales, l'action ressemble aux roues à aubes, tandis que dans les anciennes galères, la godille avait plus d'analogie avec le mode d'agir de l'hélice, qui est en effet une godille continue, dans laquelle on évite la nécessité de renverser le mouvement en donnant une révolution complète à l'aile.

[1] Cette manière de ramer présente beaucoup d'analogie avec celle des grandes pirogues doubles, de 20 à 25 mètres de long, des îles Tonga. Les naturels de cet archipel percent des trous dans la plate-forme qui réunit les deux pirogues ; ils y passent des avirons courts, et en se tenant debout, ils placent deux hommes sur chacun pour godiller verticalement. Dans les îles malaises, il existe des bateaux assez grands, de deux et même de trois rangées d'avirons : les premiers sont posés sur le plat-bord du bateau ; les seconds sont en dehors et passés dans les trous d'une planche oblique, attachée aux leviers, ou arcs-boutants horizontaux, qui unissent les deux balanciers au corps de la pirogue ; s'il y a une troisième rangée, elle est en dehors de la seconde et disposée de la même manière. Des plans de ces grandes embarcations de guerre sont donnés dans l'Essai sur la construction navale des peuples extra-européens.

En Chine, la godille est beaucoup plus usitée qu'en Europe et elle y est plus ingénieuse : son aviron est en deux pièces de longueur à peu près égale, unies plat sur plat par des amarrages en rotin : de la sorte, la pelle et le manche ou le levier ne sont pas en ligne droite. Le côté où agissent les hommes est garni, près de l'amarrage, d'une plaque de fer ayant une cavité, et il repose par ce point sur une tête de clou, de manière à prendre librement tous les angles, et à les changer naturellement, puisque la pelle et le levier ne sont pas sur la même ligne. En outre, pour résister à l'effort vertical que produit toute godille, en cherchant à s'enfoncer dans l'eau, une corde est attachée au bout du manche et au fond du bateau. De la sorte, les hommes n'ont à produire aucune force inutile et ils se placent l'un devant l'autre pour pousser ou tirer. Lorsque ces godilles sont appliquées à de grands caboteurs, elles ont jusqu'à huit ou dix hommes chacune et ceux-ci se placent sur des échelons, pour se trouver à la hauteur convenable du manche oblique. Ces godilles s'installent aussi sur le côté au moyen de petites plates-formes saillantes. En général, j'ai remarqué que les Chinois préféraient ce moyen de propulsion à l'aviron ordinaire et qu'ils y consacraient toujours plus de bras. Le capitaine Basil Hall dans le récit de son voyage à Loo-Choo, dit que les Coréens godillent au lieu de ramer, et qu'il croit cette méthode préférable à l'usage des avirons. *(Note du traducteur.)*

En 1724, Leupold, dans son *Theatrum machinarum*, donne le dessin de plusieurs hélices pour élever l'eau; elles sont formées par des planches superposées, ayant à l'un des bouts un noyau rond et elles sont disposées comme les pierres des escaliers gothiques.

En 1731, dans un *Recueil des machines approuvées par l'Académie*, publié par Duquet, se trouve un rapport sur des avirons tournants qu'il a inventés. Ce plan fut exécuté à Marseille en 1693, par ordre de Louis XIV, et ensuite au Havre; on dit qu'il donna de meilleurs résultats que les galères ordinaires. Duquet imagina ensuite une manière de remonter le courant par sa propre force, au moyen d'une spirale placée entre deux bateaux et servant à tirer une corde.

En 1752, Daniel Bernouilli obtint le prix de l'Académie française, pour mouvoir les navires sans la force du vent; il proposa quelque chose d'analogue aux ailes des moulins à vent, appliquées sur les côtés du navire; ses roues avaient six pieds de diamètre et elles étaient complétement plongées.

1754. W. Emerson. On s'est longtemps servi en France de roues à ailes obliques établies dans une boîte conique et nommée Danaïdes ou *roues à poires ;* la base du cône était à la partie supérieure par où entrait l'eau. Emerson, dans ses *Principles of mechanics*, donna un dessin d'un arrangement de ce genre et l'idée d'un pas croissant.

1768. M. Paucton proposa à Paris la vis d'Archimède pour pousser les navires et pour mesurer leur vitesse.

1776. Bushnell, Américain, imagina un navire sous-marin muni d'une hélice et d'une grande quantité de poudre pour faire sauter des navires ennemis.

1785. Joseph Bramah prit une patente pour des roues à aubes obliques, à moitié immergées ou tout à fait sous l'eau, avec un arbre entrant dans le navire, au travers d'une boîte à étoupe.

1794. William Littleton prit un brevet pour un *aquatic propeller*, formé de trois spirales enroulées sur un cylindre et tournées par une corde sans fin; un essai exécuté avec ce propulseur ne donna pas de résultats satisfaisants.

1800. Edward Shoatea inventa une godille perpétuelle, au moyen de deux lames placées au bout d'un axe tournant librement avec un joint universel, à l'extrémité d'une longue tige, suspendue à une bouée.

En 1802, on mit une de ces godilles sur le transport *le Doncaster :*

le résultat parut satisfaisant et huit hommes au cabestan obtinrent un nœud et demi.

1803. Le citoyen DALLERY obtint, en France, un brevet pour des hélices formant deux pas, placées à l'avant ainsi qu'à l'arrière et mues par des cordes sans fin.

1804. JOHN STEVENS, Américain, essaya une sorte d'aile de moulin à vent submergée, mue par une machine rotative; celle-ci, n'ayant pas donné de bons résultats, fut remplacée par une machine de Watt. Stevens fit de nombreux essais en même temps que Fulton; il fut surtout arrêté par le manque de vapeur d'une chaudière tubulaire: il obtenait près de sept à huit nœuds pendant quelques instants.

1811. HENRY JAMES prit un brevet pour une roue à aubes placée à l'arrière, ou pour des sortes d'ailes de moulin à vent plongées dans l'eau.

1815. RICHARD TREVITHICK proposa des sortes d'ailes de moulin devant se mouvoir dans un cylindre ou avec lui; l'arête extérieure de l'hélice faisant un angle de 30 degrés avec l'axe.

1816. ROBERTSON BUCHANAN mentionna dans un de ses ouvrages des essais faits avec une hélice.

1816. JOHN MILLINGTON prit un brevet pour des hélices à l'arrière et à l'avant; celle-ci, placée à la suite d'un joint universel, était suspendue à l'étrave par une corde. Il mentionne des ailes à pivot, de manière à changer leur angle avec l'arbre.

1823. LE CAPITAINE DELISLE. Au mois de juin 1823, le capitaine Delisle présenta au ministre de la marine un mémoire sur une manière de faire marcher les navires, au moyen d'une hélice submergée, semblable à quelques-unes déjà mentionnées, mais dont la partie centrale était vide comme le montrent les figures 1 et 2. La surface en hélice était disposée en cinq filets, autour du cercle extérieur, et la longueur totale était le cinquième du pas. Cette disposition avait été proposée pour les moulins à vent par Fergusson, dans ses lectures sur la philosophie naturelle.

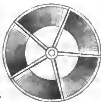


Fig. 1.

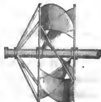


Fig. 2.

Le mémoire de Delisle n'eut point de résultat et fut complétement oublié, jusqu'à ce que la réussite de l'hélice portât à faire des recherches sur son origine.

En 1824, un mémoire de M. Marestier, Ingénieur de la marine, sur les navires à vapeur d'Amériqne, fut publié par ordre du gouvernement français et des dispositions pour la propulsion des navires par des hélices de plusieurs filets y furent données. Dans un de ces arrangements, le fond du navire est élevé en arche de l'arrière à l'avant et dans cette arche est placée une hélice ayant à peu près la longueur du navire. Dans un autre, deux filets en spirale sont placés dans le canal entre deux bateaux jumeaux et ces hélices sont tournées en sens inverse au moyen d'engrenages.

En 1824, un brevet d'invention fut pris en France par M. Bourdon, Ingénieur civil, pour pousser les navires au moyen d'une hélice ayant un pas croissant. Une compagnie essaya cette invention sur un bateau du Rhône ; mais ce projet fut ensuite abandonné.

1825. Jacob Perkins, de Londres, prit une patente pour des ailes de moulin, tournant en sens inverse, an moyen de deux arbres, dont l'un passait dans l'autre : ces ailes ne plongeaient dans l'ean que par le bas, et elles s'élevaient ou s'abaissaient suivant l'immersion, de manière à tenir les axes au-dessus de l'eau. Il les plaça ensuite sur les côtés avec des arbres obliques ; quelqnes expériences de ce système réussirent.

1825. Une compagnie formée pour essayer nne machine agissant par le vide des gaz de M. Samuel Brown offrit une récompense de 100 guinées pour le meilleur propnlseur autre que les roues ; on mit une hélice à un navire et on obtint six à sept milles à l'heure ; mais la machine à gaz employée n'ayant pas donné de bons résnltats, le projet fut abandonné.

1827. Thomas Tredgold dans la première édition de son Traité de la machine à vapeur, publié en 1827, résume des expériences sur des hélices, et expliqne l'inconvénient de celles à plnsieurs pas ; ce que Buchanan avait déjà démontré. Il dit qn'une seconde révolution avec le même angle n'a que très-peu d'action, l'eau étant déjà repoussée.

En 1829, Charles Cummerow proposa une hélice placée dans un espace découpé dans le massif arrière et un arbre passant dans un presse-étonpe ; il mit le gouvernail en arrière sur l'étambot. C'est ce qui constitua l'idée nouvelle de cette patente : son hélice n'avait qu'un filet d'un pas complet.

En 1829, William Church proposa des hélices dans le genre de celles de Delisle et tournant en sens inverse, comme l'avait déjà fait Perkins.

En 1831, M. Salichon prit en France un brevet pour toutes sortes d'hélices.

En 1832 Bennet Woodcroft en prit nn pour de longnes hélices à trois pas croissants, placées tribord et babord sous l'eau dans les façons et dont le filet entourait l'arbre lui-même.

1836. William Hale obtint une patente pour une méthode de pousser les navires en refoulant l'eau par leur arrière, au moyen d'une hélice verticale agissant comme une pompe.

L'impulsion produite en refoulant l'eau avait été proposée il y a environ deux cents ans par Toogood et avait été essayée par Rumsey, Américain, en 1788, et ensuite par Linaker, Lilley, Frazer et autres, mais toujours sans succès; la petitesse de l'orifice de décharge occasionnant beaucoup de recul.

1836. Le 31 Mai, William Pettit Smith fut patenté pour une hélice formant deux pas, placée dans l'arrière et recevant le mouvement d'une roue d'angle descendant du pont. Dans un autre projet, il rassembla deux moitiés d'hélice sur le même arbre, pour occuper moins de longueur, et ce genre de propulseur a été employé en Angleterre.

1836, le 13 Juillet, John Ericsson prit une patente pour un nouveau propulseur formant deux anneaux minces, sortes de cylindres très-courts, tenus par des rayons en spirale et portant des portions de spirale, dans le genre de l'hélice de Delisle. Ce propulseur a eu beaucoup de succès et a été le premier employé en France et en Amérique. Ericsson en établit deux, l'un derrière l'autre, et tournant en sens inverse au moyen d'un arbre passé dans un plus gros : il les a quelquefois placés des deux côtés. Il fit aussi marcher l'hélice de l'arrière plus vite que celle de l'avant, ce qui équivaut à un pas croissant.

1838. James Lowe proposa des lames courbes montées sur une douille fixée sur l'arbre; quatre lames placées à la suite les unes des autres furent réputées meilleures : cette patente n'a rien de nouveau.

1838. Joseph Taylor employa deux lames obliques et opposées placées dans le massif arrière suivant le mode actuel. Ces lames au lieu d'être des portions d'hélice, étaient plates et ressemblaient à des pelles d'aviron. Il proposa aussi une méthode pour monter et démonter le propulseur, au moyen d'un cadre glissant dans des coulisses verticales, pratiquées dans le vrai et dans le faux étambot; l'arbre se retirait en dedans pour laisser monter l'hélice et le cadre.

1838. Frédérick E. Fraisinet proposa des hélices latérales comme les roues à aubes, et mues par des roues d'angle.

1838. Le Capitaine Smith de la marine royale d'Angleterre, inventeur des canots tambours, proposa des lames obliques et plates, placées de manière à tourner en sens inverse.

1838. Peter Tayloa disposa des ailes latérales et se croisant, sans se toucher, dans un trou du massif arrière de manière à occuper moins de place.

1839. John Coope Haddan imagina des portions d'hélice tenues éloignées de l'arbre de rotation par des bras : cette idée a été proposée ou pratiquée par Fergusson, Delisle, Ericsson et Fraisinet.

1839. Georges Rennie prit une patente pour un *propulseur conoïdal*, afin d'avoir à peu près le même angle à chaque distance de l'axe; car un escalier en limaçon est plus rapide près du centre que vers le mur, puisqu'il monte d'autant dans un plus petit rayon. M. Rennie enroula donc son hélice sur un cône, pour avancer également sur tous les points, de sorte qu'il eut un pas croissant. Les autres inventeurs de pas croissants enroulaient une ligne courbe sur un cylindre ; pour M. Rennie, l'angle du cône donne l'augmentation du pas et il préfère un cône courbe en forme de chapeau chinois (qu'il appelle *logarithmic cone*). L'arête d'une hélice ordinaire agit comme une épée droite, celle de M. Rennie comme le tranchant courbe d'un cimeterre. Cette hélice n'a pas été expérimentée, elle présente de l'analogie avec celle de M. Sauvage.

1839. George Hunt fit gouverner par l'hélice elle-même en la faisant changer d'angle. Cette idée n'était pas nouvelle.

1840. Le Capitane Carpentier R. N. proposa différentes manières de faire marcher et évoluer, entre autres de percer le gouvernail d'un trou ovale, pour le passage de l'arbre de l'hélice et d'employer le joint universel.

1840. Miles Berry prit un brevet pour des hélices communiquées par un étranger. Elles formaient plusieurs filets concentriques, plus larges au milieu qu'aux deux bouts, étaient à moitié immergées et placées obliquement des deux côtés de l'avant du navire. Dans ce projet, on supposait que les hélices en suçant l'eau de l'avant facilitaient beaucoup la marche.

De telles idées ne devraient pas obtenir de patente, car elles arrêtent les perfectionnements, plutôt qu'elles ne les favorisent. Pour justifier

l'acquisition d'un brevet, il faut un mérite réel et que le travail utile soit récompensé; c'est ainsi qu'on peut s'attendre à des perfectionnements. Mais une carrière illimitée, ouverte aux rêveries, ne fait qu'entraver le progrès, car on ne peut plus faire un pas, sans que quelque brevet oublié ne s'élève pour disputer le prix. Ce n'est pas aux inventeurs qui rêvent des perfectionnements que les patentes devraient être données, mais à ceux qui les amènent en réalité à un résultat avantageux, et toutes celles qui n'auraient produit rien d'utile, pendant un temps fixé, seraient par cela seul, frappées de nullité.

1840. Henry Wimshurst prit une patente pour la manière de monter et démonter l'hélice.

1840. George Blaxland proposa des segments inclinés et placés au bout de trois bras, dans un trou du massif d'étambot. Cela ressemble beaucoup à ce qu'avait proposé Bernouilli, qui leur assigne un angle de 60°.

1841. David Napier imagina des roues de moulin à vent à beaucoup d'ailes, placées de l'arrière, ayant leur axe au-dessus de l'eau et ne plongeant que de la moitié de leur rayon.

1841. William Joest, dans une patente pour divers perfectionnements dans la propulsion des navires, proposa ce qu'il nomme l'*hélice Syphon*, formée d'ailes en hélice, fixées d'un côté sur un anneau et de l'autre sur l'arbre. Il inventa aussi une *double queue de poisson*, au moyen d'un cadre articulé au navire à la manière du gouvernail, et poussé de côté et d'autre : à l'extrémité de ce cadre étaient deux plaques mobiles disposées de manière à ce que l'une agît comme propulseur, quand le cadre se mouvait dans une direction, et que l'autre fît de même, lorsqu'il changeait son mouvement. Ces plaques étaient fixées au cadre par des pivots et leur mouvement était limité par des chaînes. Il est évident qu'un tel propulseur serait bientôt mis en pièces.

1842. Benjamin Biram inventa des perfectionnements, pour la disposition des ailes des moulins à vent, des roues hydrauliques et des ventilateurs, ainsi que des hélices. Son propulseur était formé de six ailes obliques, partant du centre, se joignant à un anneau et débordant ce dernier, comme dans celui d'Ericsson.

1843. James Hamer inventa une machine rotative, et, au moyen de joints universels, fit tourner l'arbre de l'hélice dans une direction différente de celui de la machine.

1843. Le comte de Dundonald proposa un propulseur immergé,

comme l'hélice ordinaire, mais formé de deux ailes dirigées vers l'arrière, au lieu d'être perpendiculaires à l'arbre. Un des objets importants de cette modification est de corriger l'action centrifuge de l'hélice; car avec celle qu'on emploie d'habitude, l'eau repoussée prend la figure d'un cône, tandis qu'avec celle de Lord Dundonald elle resterait cylindrique, l'action centrifuge se trouvant contrariée par la direction convergente des ailes. On a trouvé en pratique, que les hélices construites sur ce principe donnaient de meilleurs résultats que les autres.

1843. Thomas Sunderland plaça deux plaques elliptiques et obliques aux extrémités de bras fixés au bout d'un arbre, qui, sortant du navire, séparait en deux le gouvernail, et il porta l'hélice derrière ce dernier. Il n'y a rien de nouveau dans cette disposition, et un propulseur ainsi placé serait sujet à des vibrations violentes, à des ruptures et surtout à laisser passer beaucoup d'eau par le presse-étoupe.

1843. Robert Walker imagina un canal remontant dans l'intérieur du navire, pour repousser l'eau obliquement par en dessous.

1843. Elijah Galloway ne s'occupa, dans sa patente, que de la manière de monter et démonter l'hélice, qu'il plaça sur le côté dans les façons. Il employa des chaînes pour rentrer l'arbre et monter l'hélice.

1843. Joseph Maudslay inventa une nouvelle manière de communiquer une rotation rapide à l'hélice et proposa de mettre un gouvernail de chaque bord, et de conserver l'hélice sur l'étambot. Cette méthode a été essayée sur un navire construit dans ce but, mais elle n'a pas été trouvée satisfaisante. Au lieu de la forme ordinaire, on adopta pour les gouvernails celle usitée à bord des bateaux du Gange : c'est-à-dire que la partie plate du safran s'étendait sur l'avant, presque autant que sur l'arrière de l'axe de rotation, de manière à équilibrer la pression de l'eau sur les deux parties.

1844. Henry Davies prit un brevet pour une hélice placée dans un faux fond en forme de canal attaché au navire, de manière à refouler l'eau vers l'arrière. Cette idée, déjà émise, n'a jamais eu de succès; car le mouvement de l'eau dans un canal éprouve un obstacle considérable par le frottement qui, à de grandes vitesses, est égal à 1 liv. ½ de pression retardatrice par pied carré de la surface du tuyau, ce qui équivaut à $7^k,312$ par mètre carré. Le frottement des navires augmente beaucoup leur résistance; ainsi, une carène peut être construite trop aiguë; car le profit d'un avant et d'un arrière-fins est

quelquefois plus que contre-balancé par le trop grand accroissement de snrface.

1844. Robert Hodgson proposa d'attacher des lames obliques à l'arbre, au lieu de les mettre d'équerre. C'est ce qu'avait imaginé le comte de Dundonald. On n'a pas encore déterminé l'inclinaison des ailes, et diverses circonstances influent sur leur angle; car si le pas et le recul sont considérables, l'action centrifuge l'est aussi et les ailes doivent être plus inclinées vers l'arrière. Il est clair qne le même résultat est obtenn avec nn pas convenablement varié dn centre à la circonférence.

1844. Bennet Woodcroft inventa un procédé de changer à volonté l'angle des ailes; d'après son plan, une douille est fixée sur l'arbre et tourne avec lui; elle porte des tiges pour tourner les ailes, lorsqu'elle est poussée par un levier à fourche, dont les pointes entrent et glissent dans une rainure circulaire de cette même douille (c'est le système des moulins à vent à ailes en bois). Le levier à fourche est lui-même entraîné par des tiges et des mouvements de sonnette allant sur le pont. Ce système est exposé à l'eau, tandis que ceux de Hayes et de Maudslay sont renfermés dans une boîte. Dans les navires ordinaires, il y a peu d'avantsges à varier le pas, parce qu'avec l'hélice la machine conserve la même vitesse, quelle que soit la marche du navire. C'est un des défauts de l'hélice, comme on le verra plus loin, et le changement de pas entraîne la supposition, qu'avec des vents contraires ou une surjauge, la vitesse de révolution serait do beaucoup diminuée, ce qui n'est pas.

1844. William Fairbairn ne mentionna dans sa patente qu'un certain arrangement pour modifier à volonté le rapport de la vitesse de l'hélice relativement à celle de l'arbro des machines.

1844. Chrisopher Hays proposa le même objet, et de plus un moyen de changer l'angle des ailes.

1844. J. Bodmer imagina de placer, de chaque côté de l'étambot, nne petite roue à axe vertical, faite sur le principe du ventilateur centrifuge; chacune de ces roues était entourée d'un tambour, comme dans le ventilateur et avait sur le côté une ouverture pour la sortie de l'eau. En tournant le tambour, cette ouverture était dirigée vers l'avant ou vers l'arrière, de manière à marcher en avant on à reculer, et afin de faciliter les évolutions, elle était tournée de côté pour rejeter l'eau dans une direction perpendiculaire à la longueur du navire.

1845. Frédérick Rosenborg proposa l'emploi d'une hélice Ericsson

placée en porte-à-faux sur l'arrière, et mit en dessous un gouvernail, dont le safran était très-long.

1845. George Beadon Commander R. N. proposa un ruban séparé de l'arbre au milieu, formant une courbe en hélice de trois pas, et s'écartant beaucoup plus de l'axe au milieu qu'aux extrémités.

1845. Charles Forret prit en Angleterre un brevet pour ce qu'il nomme une hélice Devsine; elle est formée d'une spirale très-allongée et pointue, comme une révolution de l'intérieur d'une coquille de limaçon.

1845. Thomas Oxley. Parmi quelques perfectionnements, il mentionna une disposition pour augmenter le diamètre des hélices; chaque aile glissait, suivant le rayon, comme une vanne de moulin, au moyen de crémaillères mues par un pignon commun.

1845. Stephen Parkhurst prit une patente pour des roues à aubes ordinaires, mais de petit diamètre et ayant leur axe vertical. Une de ces roues devait être placée de chaque côté du navire et être à moitié enfoncée dans le navire, de manière à ce que les aubes, restées en dehors, agissaient seules pour faire aller de l'avant : ce procédé a de l'analogie avec celui proposé par Bodmer.

1845. Christopher Hays. Il proposa de suspendre l'hélice dans un cadre, qui, lorsque l'arbre était rentré, servait à élever l'hélice hors de l'eau au moyen de pignons agissant sur les crémaillères du cadre. En outre, un mécanisme, pour changer l'angle des ailes, était renfermé dans un gros noyau, où étaient engagés les pieds des ailes, qui, d'abord cylindriques, étaient tournés en dedans au moyen de leviers, dont le mouvement était réglé par un petit arbre passé dans l'intérieur du gros. Le même mécanisme servait à mettre les ailes dans le plan de la quille, lorsque le propulseur était inutile. On a déjà dit que la possibilité de changer l'angle des ailes était de peu d'importance, et les propulseurs doués de cette facilité sont naturellement moins solides que les autres. L'hélice folle oppose trop peu d'obstacle, pour qu'il soit nécessaire de l'affaiblir afin de changer son angle : sa suspension dans un cadre en métal est une disposition très-utile et maintenant adoptée, lorsque l'hélice se démonte.

1846. John Penn. Parmi les perfectionnements de son brevet, il mentionna un moyen de diminuer le frottement des butées. La rapidité de rotation des arbres et la force de la poussée usaient rapidement les butées dans les premiers navires et les échauffaient souvent. M. Penn proposa de remédier à ce défaut, au moyen d'un disque plat d'acier trempé, placé dans une position verticale à l'extrémité de l'axe pour

recevoir la poussée. Le disque avait un diamètre plus grand que celui de l'arbre, et il était solidement fixé au côté d'une roue dentée placée excentriquement à l'arbre de l'hélice. Un mouvement de rotation lent était donné à cette roue et au disque, de manière à toujours présenter une nouvelle surface au frottement de l'arbre. Parmi d'autres idées se trouvait celle d'une machine à fourreau, qui a eu un succès remarquable.

1846. Samuel Seaward suspendit l'hélice à la voûte de l'arrière par un cadre tournant, dont les branches inférieures embrassaient le propulseur et étaient dans le plan du navire; tandis que celles du haut étaient à charnière sous l'arrière et dans le plan perpendiculaire. Dans la disposition de M. Samuel Seaward, il est à remarquer que l'arbre sort du navire par le côté, de manière à laisser le gouvernail libre, et à placer l'hélice derrière lui. Cette partie de l'arbre est creuse, avec un long boulon passé dans son intérieur; le bout de ce boulon a dans le navire une roue dentée pour le tourner, afin que l'extrémité de l'arrière, qui a un filet, entre et se visse dans l'hélice, de manière à la fixer solidement sur une partie conique de l'arbre. Des dispositions préférables ont été adoptées par M. Seaward; mais la position de l'arbre sur le côté, n'a pas été fréquemment employée.

1846. Joseph Maudslay adopta une disposition dans le genre de la précédente, fit porter le bout de l'arbre par une forte jambe de force fixée latéralement à l'étambot, et engagea ou dégagea l'arbre en le faisant entrer et sortir. Il mit en outre un embrayage pour rendre l'hélice indépendante de la machine et un frein pour la maintenir.

1846. Peter Taylor proposa deux jeux de quatre ailes de moulin, tournées par des roues d'angles. Disposition encore plus mauvaise que celle du même inventeur en 1838.

1846. Thompson et Wright voulaient refouler l'eau par l'arrière, en la suçant par l'avant, au moyen de roues à axes verticaux, portant chacune deux palettes entrant dans des cavités de la roue voisine.

1846. John Samuel Templeton inventa un propulseur formé d'une lame plate, tournée autour d'un axe de manière à faire un conoïde.

1846. James Montgomery. L'un des arrangements qu'il proposa, consiste en une ouverture dans le pont au-dessus de l'hélice; celle-ci est suspendue par des chaînes qui, embrayées avec la machine, servent à la soulever. Une autre disposition fait passer l'arbre au travers de l'étambot et du gouvernail, dont une partie du safran déborde sur l'avant de l'axe des aiguillots.

1846. John Buchanan inventa un propulseur formé d'une lame plate, plantée dans un arbre et dans une direction oblique vers l'arrière; cette lame était portée par un axe tournant dans l'arbre perpendiculairement à ce dernier; de sorte qu'elle restait naturellement dans le plan de la quille, lorsque la machine était stoppée et que le navire allait de l'avant; tandis que dès que l'arbre tournait par la force de la machine, cette lame ou aile était maintenue à l'angle convenable avec l'axe de rotation, en s'appuyant sur le bord du trou où elle jouait. Les supports de l'arbre sur l'étambot et le contre-étambot étaient soutenus par des ressorts, pour éviter les tremblements. L'arbre était entouré d'un tuyau un peu plus grand que lui, et l'entre-deux était rempli d'huile refoulée par une pompe, pour lubréfier et en même temps empêcher l'eau d'entrer. Disposé de la sorte, ce propulseur ferait aller de l'avant, de quelque côté qu'il tournât, et afin de pouvoir marcher en arrière, une cheville introduite dans l'intérieur de l'arbre servirait à fixer à sa place l'axe qui porte l'aile.

1847. William Henwood plaça le gouvernail au-dessous de l'arbre de l'hélice et sur l'avant de ses ailes; une longue fusée servit à le mouvoir et son safran eut en longueur ce qui lui manquait en hauteur. L'hélice fut pendue à l'arrière dans un cadre maintenu dans des guides.

1847. Conrad H. Greenhow voulut employer des hélices plongées à refouler l'eau par l'arrière.

1847. John Macintosh émit une idée nouvelle pour la propulsion des navires; elle consiste en une lame élastique dont l'extrémité aplatie s'éloigne obliquement de la direction de l'axe; de sorte que dessinée en élévation elle a la forme d'une poignée de pistolet, dont le canon représenterait l'arbre. Cette lame ou aile flexible est en acier et son degré d'élasticité est réglé par la superposition de plusieurs ressorts, comme pour la suspension des voitures. Il en résulte que lorsque l'arbre tourne, la lame fléchit et prend une forme d'autant plus dévoyée, qu'elle éprouve plus de résistance. La forme en hélice dépend donc de la force de la lame relativement à celle de la machine, et ce propulseur agit également, de quelque côté que tourne l'arbre; mais il lui est impossible de servir à marcher en arrière. Dans ce but, l'inventeur a disposé deux ailes opposées, portées sur des boulons au bout de l'arbre, de manière à être penchées vers l'arrière pour marcher en avant et vers l'avant pour reculer; des tiges à charnière servent à maintenir les ailes dans chacune de ces positions. Un propulseur élastique est certainement une idée très-

ingénieuse, et il agirait probablement d'une façon plus efficace que s'il était rigide; mais la nécessité de marcher en arrière le rend plus compliqué et moins solide.

1847. Sir Samuel Brown R. N. eut l'idée de deux propulseurs : l'un dans le massif arrière, l'autre au delà du gouvernail, ou de chaque côté de l'étambot, de manière à tourner ensemble.

1848. Gardiner Stow, de New-York, proposa de placer de chaque côté un propulseur, ayant de l'analogie avec celui de Delisle, et de l'immerger d'environ un septième du diamètre. Aucune des hélices partiellement immergées, que j'ai eu occasion d'observer, n'est exempte d'objections, ou n'a des qualités telles, que je croie devoir la recommander pour la pratique. Cependant, pour les navires ayant une immersion variable, je pense que de grandes hélices, agissant d'après ce principe, donneraient de meilleurs résultats que la roue à aubes ordinaires.

1848. Robert Fowles prit une patente pour un propulseur, qui, bien que différent de l'hélice, doit être décrit : son action ressemble à celui de la queue d'un poisson; sa forme est un ovale, tenu par le bout du petit axe, et il est placé à charnière sur une forte tige verticale, tandis qu'une autre ayant un mouvement alternatif de bas en haut remue l'aile; une autre disposition lui donne un mouvement horizontal. En tournant la tige qui porte une ou plusieurs de ces ailes, le navire est gouverné : pour un grand bâtiment, la multiplicité des ailes serait préférable.

1848. Joseph Maudslay proposa un moyen de mettre les ailes dans le plan du navire; elles sont toutes deux terminées par une partie cylindrique enfoncée dans le bout de l'arbre et portant de petites roues dentées, engrenées l'une dans l'autre pour faire tourner les deux ailes en même temps, jusqu'à ce qu'elles touchent au buttoir qui les maintient à l'angle convenable; leur surface étant plus grande en arrière qu'en avant, elles tendent naturellement à prendre leur position en contact des buttoirs, dès que la machine marche. Un renvoi de mouvement sert à tourner les roues dentées.

1848. Moses Poole prit une patente pour une nouvelle sorte d'hélice, appelée *Boomerang Propeller*, communiquée par le Lieutenant-colonel, sir F. Livingstone Mitchell. L'idée de ce propulseur est tirée d'une arme de jet remarquable des sauvages de l'Australie, qui consiste en une lame de bois courbée de manière à former une partie d'hélice et qui est lancée à la main. Le propulseur forme des bandes en

arc de cercle, un peu plus larges aux extrémités qu'au milieu et disposées de manière à ce qne l'arbre soit au centre de gravité des ailes, qnel que soit leur nombre. Le but principal de cette invention paraît être de permettre anx surfaces propulsives d'agir sur l'eau, sans occasionner l'action contraire de la partie centrale de l'hélice ordinaire, qui, tout en ne produisant que peu de propulsion, est néanmoins une résistance considérable. Divers autres moyens, tels que les projets de Delisle, Ericsson, Fraisinet, etc., remplissent le même but et n'ont pas les inconvénients de celui de Poole.

1848. Joshua Beale inventa un propulseur qn'il nomme *aile d'oiseau*. Pour le former, il prend le sixième d'un cylindre creux, du même diamètre qne l'hélice et d'une longuenr égale à la largeur qu'il désire donner aux ailes, et il le fixe par un des deux bouts à l'arbre. Alors l'aile est taillée suivant une forme en hélice en coupant les parties qui sont à un trop grand angle d'un côté et à un trop petit de l'autre. L'arête qui coupe l'ean doit avoir un peu moins de pas que l'opposée qui, au contraire, en a un plus grand que le pas moyen. On peut employer plusieurs de ces ailes et l'inventeur préfère que la somme de leurs surfaces soit, snivant les formes et la vitesse du navire, entre un dixième et un quart de la maîtresse section immergée. M. Beale obvie à la poussée de l'hélice en la recevant sur des surfaces roulantes. Pour cela un grand collet conique, dans le genre d'une roue d'angle, est fixé à l'arbre, et deux autres roues semblables, établies à angle droit de l'arbre, s'appuient sur la première et reçoivent l'impulsion. Ce procédé n'a pas été adopté et il est moins simple qu'une série de collets contigus, tournant dans les rainures des coussinets, moyen généralement employé maintenant.

1849. Wakefield Pim se borna à proposer des hélices à l'avant et à l'arrière, sans spécifier de formes.

1849. Hick et Gaitrix placèrent aux extrémités des sortes de bras en feuilles de métal (au nombre de six sur le dessin) qui, au lieu d'être plates, furent courbées d'un angle à l'autre, et formèrent ensemble un hexagone. (Il existe des voiles de moulins disposées de cette sorte, mais leur forme est triangulaire). Il résulte un double avantage de cette disposition : 1° Que l'eau repoussée suivant le rayon par la force centrifuge rencontre l'arête extérieure du propulseur, qui a un plus grand pas. 2° Que l'ean, renvoyée du centre à la circonférence, contribue nécessairement à faire tourner le propulseur, lorsqu'elle rencontre la courbure de la feuille, et fait profiter d'une partie de la force dépensée par

l'action centrifuge. Le but de cette invention est très-utile, mais il est plus facilement atteint par les formes proposées par le comte de Dundonald en 1843 et M. Hodgson en 1844, ou par MM. Rennie, Emerson, Bourdon, Tredgold et Woodcroft.

1849. DUGDALE et BIRCH ont eu l'idée de former le fond du navire en arcade, de manière à faire un canal dans lequel se meuvent plusieurs hélices, dont les diamètres augmentent en approchant de l'arrière. Ce moyen a été cité par Marestier comme ayant été imaginé en Amérique.

1849. ALEXANDER CAMPBELL. Parmi divers appareils, il proposa un propulseur dont la surface forme deux triangles rectangles opposés et appliqués par un de leurs côtés sur l'arbre; ils ont un si grand pas et sont si peu courbes, qu'ils ne sauraient donner une grande impulsion au navire.

1849. HENRY BESSEMER employa une hélice ordinaire du système Ericsson pour faire courir de l'eau dans deux branches de tuyau traversées par les ailes de l'hélice; ces deux branches se réunissent, à l'avant et à l'arrière dans un canal commun. L'efficacité d'un propulseur ne saurait être augmentée en le renfermant dans un tuyau, et le frottement de l'eau dans les conduits est assez considérable pour retarder beaucoup.

1849. JOHN RUTHWEN voulut se servir d'un ventilateur centrifuge, tournant dans un tambour, pour rejeter l'eau par le fond du navire; un arbre vertical fait tourner le ventilateur, et les conduits par lesquels l'eau sort sont faits de manière à être dirigés vers l'arrière ou vers l'avant, pour marcher dans l'une ou l'autre de ces directions. Il n'y a rien de nouveau dans cette patente; on dit que M. Ruthwen a obtenu des résultats satisfaisants. Je ne crois cependant pas qu'il ait évité l'obstacle des grandes surfaces frottantes, qui ont empêché jusqu'à présent la réussite de ce système.

1849. ROBERT GRIFFITHS, du Havre, prit un brevet en France, pour des perfectionnements dans les machines à vapeur et les propulseurs. Après avoir détaillé divers renvois de mouvement, il explique la manière de trouver la forme convenable des hélices. Le principe de son appareil consiste dans la détermination de la force du courant à divers points en dedans du disque de l'hélice, quand le navire est en mouvement. Pour cela il suspend de petites boules à différents points de la surface des ailes, la poussée sur chacune est indiquée par un ressort en spirale et la différence dans la force du courant sur les parties du disque, ainsi

montrée par les ressorts, sert à modifier la courbure de l'hélice. Cette manière de déterminer la forme convenable me paraît difficile et incertaine. Il serait meilleur de faire une petite hélice en gutta-percha et de la mettre en action dans de l'eau chaude refroidie graduellement : elle serait ramollie, se moulerait sur la meilleure forme à donner pour la propulsion, et la conserverait quand elle serait froide. Naturellement l'arête coupante serait soutenue par une tige métallique. On obtiendrait le même résultat dans l'eau froide, en couvrant une hélice ordinaire de caoutchouc et en introduisant entre deux du plâtre de Paris, qui d'abord mou, se solidifie peu à peu dans l'eau. Cette substance serait moulée par la pression, pendant que l'hélice serait en mouvement, suivant la forme propre à la propulsion, et la conserverait ensuite. Je pense que toutes les hélices sont convenablement moulées quand elles sont en action : car tous les corps qui traversent l'eau avec rapidité, entraînent avec eux une couche d'une épaisseur considérable ; par conséquent, l'hélice est pour ainsi dire enveloppée d'une couche sur laquelle presse l'eau réagissante : il en résulte que là où la force sera plus forte, le liquide entraîné sera comprimé et la surface de cette couche prendra une forme meilleure que celle de l'hélice solide. Si cette idée est juste, l'hélice avec un pas uniforme fonctionnera aussi bien que celle à pas croissant. Car, quoique ce dernier soit bon en principe, chaque hélice entraîne avec elle une couche, moulée par l'eau qui agit dessus, et il s'ensuit que, sur la portion poussante, cette couche sera plus mince que sur la face qui suit, et cela à cause de la plus grande pression produite sur le premier de ces deux côtés. Il en résulte que, bien que la partie métallique ait un pas uniforme, l'enveloppe aqueuse en aura un croissant, comme on le trouverait si cette couche était gelée et l'hélice sortie de l'eau. Dans une hélice à pas croissant, il n'y aurait pas d'action tendant à corriger la forme, et la couche adhérente aurait une épaisseur uniforme.

Le principal perfectionnement de M. Griffiths consiste en une manière de changer le pas de l'hélice, suivant le degré de résistance qu'elle éprouve. Pour cela les deux ailes sont portées par une tige ronde, passant par leur centre de figure, et s'enfonçant dans un trou d'un globe sphérique, fixé sur l'arbre. Chacune de ces tiges a sur le côté une saillie cylindrique assez longue, introduite dans une demi-sphère placée dans la première, de manière à glisser librement sur l'arbre, pour pousser ou laisser revenir les saillies latérales et faire tourner les ailes. Cette demi-sphère glissante est unie à un levier, dont le grand bras est tenu par

un ressort de voiture. Le but de ce mécanisme est d'arriver à ce que lorsqu'une canse fait mouvoir l'hélice avec plus de vitesse que d'habitude, l'accroissement de résistance de l'arête coupante pèse snr le ressort et augmente le pas, pour accroître la résistance des ailes et maintenir la machine à une vitesse uniforme.

Quoiqu'il y ait beaucoup de talent dans ces arrangements, ils me paraissent cependant devoir peu durer, et je ne crois pas qu'il y ait avantage dans les procédés de changer le pas, soit que ces moyens agissent d'eux-mêmes ou autrement: car lorsqu'un navire est arrêté par un vent contraire, l'hélice tourne avec la même vitesse, ou à peu près, quel que soit l'accroissement de pas qu'on lui donne; et ce qu'il faudrait n'est pas un changement de pas, mais une augmentation de diamètre ou d'immersion, qui permette de lui appliquer une plus grande force. Sur les navires à hélice, aussi hien que sur ceux à roues, il est important, dans les circonstances favorables de vent et de mer, de faire marcher les machines à une grande détente, et dans les occasions défavorables, de fonctionner à toute vapeur. Il faudrait une hélice capable de résister à ce surcroît de pression, sans perdre beaucoup de force par l'exagération du recul.

1849. Buckwell et Apsey inventèrent nn propulseur destiné à imiter la queue des poissons.

1850. Florid Heindryckx, de Bruxelles, proposa de fixer sur l'arbre, perpendiculairement à sa longueur et seulement par un côte, des feuilles carrées d'acier qui, lorsque l'arhre les entraîne, plient de manière à former une surface oblique. Cette idée ne vaut pas celle de Macintosh et ne permet pas non plus de marcher en arrière.

1850. John Tucker disposa l'hélice de manière à être démontée, en la plaçant au bout d'un levier tournant, qui perçait le navire au-dessus de l'eau et portait l'hélice sous le tableau, ou la descendait vers l'arbre situé sur le côté, de manière à laisser le jeu nécessaire au gouvernail. L'hélice était placée derrière celui-ci, et devait être entourée d'un anneau pour empêcher les cordes de s'y engager. Il n'y a rien de nouveau dans cette patente.

1850. George Henry Phipps. D'après son projet, l'hélice est suspendue à l'arrière qui a heaucoup de saillie et ne soutient le gouvernail que par la partie supérieure de sa fusée. L'arbre, brisé et articulé par un joint universel, est dans une longue fente qui partage l'arrière et où il peut être abaissé au moyen d'un coussinet, qui le porte et le descend à volonté

dans nne coulisse. Cette idée d'élever on d'abaisser le propulseur au moyen d'un joint universel a été émise déjà par Shorter en 1800, Trevithick en 1815 et Millington en 1816. Mais la disposition adoptée par M. Phipps est mieux assortie aux conditions des navires destinés à naviguer par des fonds très-inégaux.

1850. Gaspard Malo, de Dunkerque, prit une patente ponr des perfectionnements, qui consistent surtout dans une hélice composée d'ailes étroites, se pliant comme un éventail; il y a quatre ailes arrêtées par paires à des arhres différents, de manière à ce qu'en fixant l'axe central, celui de l'extérieur amène les secondes ailes en contact des premières.

1850. William-Edward Newton ne s'était occupé que des formes des navires à hélice et donnait un tirant d'eau considérable à l'arrière, de manière à avoir un grand diamètre d'hélice. C'est ce dont se sont rapprochés les constructeurs judicieux.

1850. Cochrane et Francis proposèrent des lames ou leviers s'enfonçant dans l'eau an milien du navire; et pour le gouvernail ils voulurent projeter une partie du safran sur l'avant de la fusée.

1850. John Beattie entonra le gouvernail d'un grand cadre en fer, dans lequel il se meut; ce cadre lui sert à porter l'hélice, qui tourne librement derrière, et dont l'arhre passe dans le gouvernail; celui-ci ayant son safran coupé et sa fusée formée dans cette partie par un anneau assez grand pour lui permettre de prendre les angles convenables sans toucher l'arhre. D'antres personnes avaient déjà proposé de faire passer l'arbre au milieu du gonvernail et même de placer ce dernier dans un cadre en fer.

1850. Ethan Baldwin forma son hélice en prenant une feuille de métal, ronde comme une scie circulaire, la coupant suivant nn rayon et forçant les bords de cette coupure à venir s'appliquer sur l'arhre, en s'écartant de la longueur à donner an pas; de la sorte, une hélice en fer doux serait faite d'une manière heaucoup moins dispendieuse.

1850. Henry Wimshurst plaça l'hélice sur le côté de l'étambot, et snr un arbre à joint universel, de manière à être élevé jusqu'à sortir de l'eau et à venir se placer sous la voûte; la partie de l'arhre située par le travers de l'étambot était guidée par une coulisse et l'hélice tournait derrière et an delà du gonvernail. Sur l'avant, la même patente place nne hélice dont l'axe est perpendiculaire à la longueur du navire, de manière à le faire évolner. Ses ailes agissent sur l'ean dans un trou pratiqué dans le massif de l'étrave et se mettent dans le plan de la quille lorsqu'on marche en avant.

1851. Bennet Woodcroft prit une patente pour des ailes d'hélice mobiles, afin d'en changer l'angle, et même d'aider à la manœuvre du navire, en se mettant dans le plan perpendiculaire à l'axe pendant nne partie de la révolution et obliquement pendant l'autre. Ces divers mouvements étaient produits par des pignons et des leviers.

1851. Le Commandant George Beadon R. N. proposa nne hélice dont les ailes en se recourbant forment nn pas croissant et s'étendent beaucoup vers l'arrière, de manière à obvier à l'action centrifnge. Cette hélice est jndicieusement conçne, mais elle exige nn plus long trou dane le massif arrière et ne paraît pas anssi solide que celle dont on se sert généralement.

1851. Henry Lund obtint un brevet ponr des propnlseurs en forme d'avirons totalement immergés : ils consistaient en denx longues lames plates, placées l'une devant l'autre et réunies par nn massif, auquel un mouvement rotatif était donné par la machine, au moyen d'un mécanisme intérieur; quand nne rame poussait vers l'arrière, l'autre coupait l'ean pour aller de l'avant.

1851. Alfred Sturdee, *naval architect of Woolwich*, a proposé en 1848 une forme de navire spécialement assortie à l'hélice; il nomme cette forme *arrière-jumeau*; et tandis que l'avant reste semblable à celui des autres navires, le corps se eépare à partir dn milieu et forme denx parties pourvnes chacnne d'un gouvernail, de manière à placer l'hélice entre les deux. Cela avait déjà été patenté en Amérique.

1851. Le Capitaine Carpenter R. N. proposa de fendre le navire à partir du milien de sa longueur et de le partager en deux parties munies chacune d'un gonvernail; mais au lieu de placer une hélice dans ce canal, il en met une dans chacun des massifs d'étambot. Il mentionne, en outre, un propulseur construit en attachant une lame plate sur l'arbre suivant un angle de 22° ½ avec l'axe et la courbant ensuite jusqu'à ce qu'elle fasse un angle de 67° ½.

INVENTEURS DIVERS.

Malgré la grande qnantité d'inventeurs cités plus haut, le catalogue n'en est pas épuisé; mais ayant expliqué an long ce qui a paru le plus intéressant, une simple mention suffira pour le reste.

En 1746 Bouguer dans un Traité du navire, publié à Paris, décrivit diverses manières de marcher sans voiles et entre autres dee pattes d'oie

s'onvrant et se fermant comme une porte double, et des ailes semblables à celles des moulins à vent.

Le 29 Novembre 1791 nn brevet d'invention fut accordé à l'Américain Fitch ponr un navire à vapeur ; mais on voit, dans la Description des machines et procédés des brevets expirés, Paris 1811, que M. Desblanc avait proposé antérienrement la même chose et en avait déposé un modèle au Conservatoire.

Le 14 Février 1796 nn brevet fut délivré à Thilorier pour nn moyen de produire de la force par un courant d'air et d'eau.

En 1799 un brevet fut remis à Delacroix pour nne manière de marcher sans voiles, chevaux, ni rones.

En 1805 O'reilly proposa huit roues snr le même arbre et de chaque côté dn navire; les ailes de ces roues avaient des lames obliques.

De 1815 à 1819 Boswell et autres prirent des brevets pour des propulseurs basés sur l'idée de la vis d'Archimède.

1823. Le *Mechanic's magazine* publia une invention de John Norton, consistant en une spirale partiellement immergée, et dans un second volume, l'hélice à axe vertical est recommandée pour les monlins.

1824. Dollman prit en France un brevet pour deux axes concentriques, tournant en sens inverse et portant des lames inclinées de 45°.

1827. Le Colonel Maceroni proposa au duc de Clarence, depuis Guillaume IV, un propulsenr en hélice, et ce projet, examiné par l'amirauté, fut rejeté.

1829. Benjamin Smith prit un brevet pour des roues godilles, ou hélices placées à l'arrière : les ailes étaient au nombre de six, et une roue placée de chaque côté de l'étambot tournait en sens inverse de l'autre.

1830. Josiah Copley prit un brevet pour un propulseur en spirale, et pour l'employer comme moteur en le plaçant dans un courant rapide.

1830. Henry Ovinel proposa des spirales tournant dans des tubes placés de chaque côté du navire.

1830. Félix Pelzier, de New-York, obtint une patente pour une hélice avec un pas régulier ou croissant, et aussi pour le cas où elle varie de diamètre.

1830. Clark Wilson prit une patente pour le même objet.

1832. Le Capitaine J. Pole envoya à la Société philosophique de Maurice un modèle de navire à vapeur, poussé par une hélice, et il proposa d'en mettre nne à l'avant et l'autre à l'arrière.

1832. Sauvage. Dans le Recueil des brevets expirés, ou parle de la présentatiou d'uu plan pour pousser les navires par uue ou plusieurs hélices d'Archimède, pour lequel uu brevet fut accordé à M. Sauvage eu 1832.

1833. *Moulin à eau à hélice sur le Mississipi.* Dans le *Mechanic's magazine*, se trouve la description d'uu moulin à hélice qui venait d'être établi sur le Mississipi. Le moteur était une hélice en tire-bouchou en chêne, qui flottait sur l'eau et tournait par le courant. Cette hélice entraînait une chaîne de tiges jointes par des boulons, qui faisait tourner les meules, comme le ferait un arbre flexible. La personne qui a écrit cet article du *Mechanic's magazine*, ajoute que la même sorte de machine est employée à touer les navires hors du port de Maurice contre les vents généraux, tantôt poussée par la force du courant, tantôt par celle du guindeau. Comme la population des bords du Mississipi où se trouve ce moulin est surtout française, l'auteur pense qu'il est probable que cette idée y a été apportée de Maurice.

1834. Émerson prit patente pour une hélice dans le genre de celles de Delisle et d'Ericsson.

1834. William Burk inventa uue spirale tournée plusieurs fois sur l'arbre.

1834. Isaac Theal adopta une hélice d'Archimède placée de chaque côté du uavire, et lui douna cinquaute pieds de long et dix pieds de diamètre [1].

1835. John Smith partagea la carèue de l'arrière en deux parties pour y placer l'hélice et laissa l'avant tel qu'il est.

1835. Edward Fitzpatrick. L'arbre de son propulseur ressemble à deux cônes réuuis par la base, et le filet eu hélice est tourné autour, de manière à être plus large au milieu.

1836. Aretus Wilder obtiut un brevet pour uue hélice formée d'aubes moutées sur uu arbre long, de manière à présenter uue hélice coutiuue.

1837. Jesse Ong proposa deux roues, avec l'arbre de l'uue passant daus celui de l'autre.

1838. L'éditeur du journal *le Franklin*, dans sa notice sur la patente d'Ericsson, dit que le Colonel Stevens de Hoboken l'avait informé, eu 1805, qu'il avait essayé des roues semblables à l'arrière d'uu bateau et

[1] En 1835, M. Janvier, alors lieutenant de vaisseau, a fait à Toulon des essais intéressants sur des pattes de canards, sortes d'aubes placées librement à charnière, au bout d'une longue tige en fer perçant le fond du navire. Cette aube se rapprochait de la carène comme la patte des palmipèdes, et s'en éloignait pour donner l'impulsion au bateau.

que d'abord il n'en employa qn'nne dans le centre. La tendance du bateau, ainsi essayé, était de décrire nn cercle; ce résultat fut attribué à la résistance moindre éprouvée par les ailes vers la surface, à cause de la facilité avec laquelle l'eau était repoussée. Deux bélices furent ensuite essayées, l'une à côté de l'autre et tonrnant en sens inverse; mais l'effet trompant les espérances, le projet fut abandonné.

1839. Thomas Jackson plaça deux hélices dans le massif arrière et les entoura pour empêcher les cordes de s'y engager; cela était proposé depuis longtemps par Bourdon et d'autres personnes.

1839. M. Waddell entreprit, avec un propulseur ressemblant à celui de Shorter, nn voyage à la côte d'Afriqne; le résultat de cette expérience fut qne la rone à aubes était préférable.

1839. Benjamin Beecher employa deux hélices.

1841. Ebenezer Beard proposa de courber les aubes dans une direction perpendiculaire à l'axe de l'arbre.

J'étendrais beauconp trop ces remarqnes, si je cberchais à raconter les nombreux projets de perfectionnement des navires à hélice en Angleterre, en Enrope et en Amérique pendant les dix dernières années. Presque tous sont des reproductions d'essais antérieurs, avec des modifications insignifiantes, et celles qui ont été admises dans la pratique, ou qui paraissent d'nne application avantageuse, seront examinées dans le cours de cet ouvrage.

Je termine donc ici ma récapitulation des projets, qni ont été proposés à différentes époques pour les navires mns par des hélices. Dans ce vaste cercle d'inventions, fort peu ont survécn aux premiers moments de la nonveauté, et fort peu aussi sont parvenues à un résultat utile. Car, jnsqu'à l'époque où Smith et Ericsson ont paru, l'hélice n'avait fait aucnn progrès pratique : et qnand ils prirent leurs patentes, en 1836, il n'existait aucnn navire mû de cette manière. Des expériences avaient cependant été faites en Angleterre, en France et en Amérique, et avaient montré qu'un navire pouvait marcber avec une bélice. Mais ce souvenir était en grande partie effacé, on ne servait qu'à produire du découragement; et l'on établit que si ce propnlseur avait donné de bons résultats qnand il fut essayé, il n'anrait pas été abandonné. Lyttleton en 1794, Shorter en 1802, Stevens en 1804, Bourdon en 1824, Brown en 1825, avaient tous vonln imprimer le monvement aux navires avec une hélice, et avaient obtenu un certain succès dans leurs essais. Mais ces inventenrs paraissent avoir manqué de cette persistance, qni est la principale

cause de réussite, et probablement aussi l'époque où ils travaillèrent pour amener leurs idées à de bons résultats, n'était pas encore favorable. Quoi que nous pensions sur ce sujet, il est certain qu'avant l'époque où Smith s'en occupa en Angleterre et Ericsson en Amérique, aucun résultat pratique n'avait été obtenu; tandis que depuis cette époque, et surtout à cause du succès lui-même, les progrès ont été rapides et non interrompus. Je n'attache pas d'importance à l'examen des détails de ces petites questions rétrospectives. Je ne crois pas nécessaire de demander si les propulseurs particuliers, par lesquels cette révolution dans l'art de la navigation fut opérée, étaient intrinsèquement meilleurs que d'autres, dont l'existence s'est bornée à être tracée sur le papier. Il ne paraît pas raisonnable de s'attendre à ce que les meilleures formes d'hélices soient celles qu'on a employé les premières, et il est naturel de prévoir qu'on en découvrira de meilleures. Mais, comme une telle découverte ne saurait empêcher la reconnaissance due à MM. Smith et Ericsson, elle ne doit pas non plus diminuer la récompense acquise par leurs efforts heureux. Dans le fait, il serait injuste que les personnes, qui proposent de nouvelles formes d'hélices, se trouvassent au même niveau que celles par lesquelles ce genre de propulsion a acquis le rang d'un nouvel art. Le service rendu par l'inventeur cesse d'exister dès que son idée est remplacée par une autre préférable. Là aussi doit finir le bénéfice de son invention. Mais le service rendu par ceux qui ont créé un nouvel art, s'étend jusqu'au point où cet art lui-même cesse d'être en usage. Par le fait, il se présente ici deux questions distinctes : dans quel ordre de mérite mécanique doit-on ranger les différents projets qui ont été passés en revue? et auquel de tous les auteurs de ces projets sommes-nous redevables de l'établissement pratique de la propulsion par l'hélice? On ne saurait, sur le premier point, obtenir une opinion unanime, et ceux qui veulent employer une nouvelle forme doivent payer l'inventeur pour son privilége. Mais un tel tribut ne les exempte pas de leurs obligations envers les hommes qui les premiers ont eu à vaincre de beaucoup plus grandes difficultés.

L'introduction d'une nouvelle science est un des faits saillants d'un siècle, et les récompenses dues à de tels résultats, doivent être évaluées en raison des obstacles qu'on a vaincus. En Angleterre, les efforts persévérants de Smith ont grandement contribué à l'adoption de l'hélice, et ce système semble destiné à marquer une nouvelle et importante époque dans notre histoire maritime et commerciale. Ce serait une ex-

pression de la reconnaissance générale, que cette révolution fût inaugurée en conférant à son auteur des honneurs et une récompense nationale : un tel fait serait en harmonie avec un règne, qui se distingue par son appréciation des arts, par les encouragements qu'il leur donne, et par l'intérêt éclairé qu'il porte à tout ce qui tient à la fortune publique.

CHAPITRE II.

INTRODUCTION PRATIQUE DE L'HÉLICE PROPULSIVE.

Dans ce chapitre, je me propose de présenter les incidents les plus importants de l'introduction de l'hélice comme propulseur. Ils commencent à l'époque où F.-P. Smith et le capitaine Ericsson s'en occupèrent. Après m'être occupé des inventions pour faire marcher les navires par l'hélice, qui n'ont produit aucun résultat utile, j'ai maintenant à rendre compte de la manière dont ce propulseur a été introduit dans la pratique.

En 1835, F.-P. Smith, fermier à Hendon, dirigea de ce côté son attention. Au printemps de 1836, il obtint le concours de M. Wright, banquier, et on lui accorda un brevet le 31 Mai 1836. Un bateau-modèle fut alors pourvu d'une hélice en bois, et mis en mouvement sur un étang, à Hendon, et à la galerie Adélaïde, à Londres. Il y fut examiné par sir John Barrow, alors secrétaire de l'amirauté, et par MM. Harris et Bell, d'Alexandrie, qui offrirent d'acheter l'invention pour le pacha d'Égypte, mais cette proposition fut refusée.

Les résultats furent si satisfaisants, que M. Smith et ses amis construisirent un bateau de six tonneaux, auquel ils mirent une hélice en bois de deux tours : le 1er Novembre 1836, ce bateau marcha sur le canal Paddington et continua à naviguer sur la Tamise jusqu'au mois de Septembre 1837. Le propulseur, ayant éprouvé un choc, fut brisé jusqu'à la moitié de sa longueur, et donna aussitôt de meilleurs résultats : ce qui fit exécuter une nouvelle hélice d'un seul pas.

Mais ces expériences montraient seulement que l'hélice convenait aux rivières et aux canaux ; elles ne prouvaient nullement qu'elle fût bonne pour la navigation en mer.

M. Smith chercha à résoudre cette question, et il résolut d'aller en mer avec son petit bateau. En Septembre 1837, il alla de Blackwall à Gravesend, et, ayant pris un pilote, il fit route pour Ramsgate. De là, il se rendit à Douvres, où il essaya son navire devant M. John Wright et M. Peake, Ingénieur civil. De Douvres, il se rendit à Folkestone, de là

à Hythe, et retourna à Folkestone : cette distance, d'environ cinq milles, fut parcourue en trois quarts d'heure. Le 25 du même mois, il revint à Londres par un temps assez mauvais pour être dangereux pour un aussi petit bateau. Le courage de l'entreprise et la manière d'agir du nouveau propulseur excitèrent l'intérêt, et la route du petit navire fut suivie par tous les marins placés sur les hauteurs voisines. Ces impressions favorables arrivèrent jusqu'à l'Amirauté, et elles y firent sensation. En Mars 1838, les lords de l'Amirauté firent essayer le bateau à hélice sous leurs yeux : les épreuves furent heureuses, et dès lors l'adoption de ce propulseur fut considérée comme utile au service naval.

Cependant, avant de se décider à l'admettre, les lords de l'Amirauté voulurent qu'une expérience fût faite avec un navire d'au moins 200 tonneanx, et M. Smith et ses associés se résolurent à construire *l'Archimède*. Il jaugeait 237 tonneaux, fut construit par M. Pascoe, et lancé le 18 Octobre 1838 ; il fit son premier essai en 1839. Il fut pourvu d'une hélice d'un pas complet, établie dans le massif arrière, et mne par deux machines, ayant ensemble 90 chevaux de force. Il coûta 10,500 livres sterling (262,500 francs). On le construisit dans la persuasion que son résultat serait satisfaisant, s'il faisait quatre à cinq nœuds par heure, et dans ce cas, l'invention devait être aussitôt adoptée par la marine. On obtint réellement près du double de cette vitesse.

Après plusieurs essais sur la Tamise et à Sheerness, *l'Archimède* prit la mer le 15 Mai 1839, et se rendit de Gravesend à Portsmouth en vingt heures, contre des circonstances de vent et de marée défavorables. A Portsmouth, on le compara an *Vulcain*, l'un des meilleurs marcheurs du service de Sa Majesté, et le résultat donna une haute opinion de l'hélice. Ces succès furent obtenus avec une hélice d'un pas, et quoique depuis on ait successivement réduit sa longueur, la première est demeurée très-bonne.

L'Archimède retourna à Londres pour changer ses chaudières, à cause d'un accident, et il y passa cinq mois. Il fut alors envoyé au Texel, à la demande du gouvernement hollandais ; mais en route il brisa la manivelle de l'une des machines. MM. Miller et Ravenhill furent alors chargés de le réparer complétement, et on lui fit une nouvelle hélice de deux demi-tours, qui, placés aux côtés opposés de l'axe, figuraient une hélice à deux filets d'un demi-pas chacun. En Avril 1840, l'Amirauté chargea le capitaine Chappel et M. Lloyd, mécanicien en chef de Woolwich, de diriger des expériences à Douvres. Pendant les mois d'Avril et

de Mai, *l'Archimède* y fut essayé comparativement aux paquebots de la poste, et le résultat fut un rapport des plus favorables.

Après ces expériences, il fut mis à la disposition du Capitaine Chappel, qui, accompagné de M. Smith, fit le tour de la Grande-Bretagne, en visitant tous les ports importants, pour montrer le nouveau navire aux constructeurs et aux armateurs. *L'Archimède* fut partout un objet d'étonnement et d'admiration.

Les Ingénieurs mécaniciens étaient d'une opinion presque unanime, et croyaient qu'une hélice occasionnerait une perte considérable de force, par l'obliquité d'action de ses ailes et par la dispersion de l'eau, et ils avaient conclu qu'il ne fallait pas l'adopter. Je me souviens parfaitement d'avoir partagé cette opinion. Mais il était impossible de résister à l'évidence des faits démontrés par *l'Archimède*. Les anciennes idées, souvent adoptées légèrement, furent modifiées ou abandonnées, et, quoique peu de mécaniciens voulussent encore admettre que l'hélice valût mieux que la roue à aubes, il devint néanmoins évident que leurs premières impressions étaient erronées. Dès lors ils regardèrent l'hélice avec moins de dédain, et en parlèrent moins dogmatiquement. Dans le principe, ce ne fut pas seulement contre les difficultés physiques qu'il y eut à lutter, mais contre le sentiment presque universel des ingénieurs. D'innombrables inventeurs avaient succombé devant ces obstacles réunis, et on ne saurait trop apprécier le mérite de ceux qui, sans le secours de la sympathie du public et en dépit d'un scepticisme presque universel, conservent leur foi inébranlable, et persistent jusqu'à ce que leurs peines, leurs travaux et leurs périls les amènent à un résultat heureux.

L'Archimède alla ensuite à Oporto en 68 heures $\frac{1}{2}$, et ce voyage fut le plus prompt de l'époque. Il visita Anvers, Amsterdam et d'autres lieux, laissant partout la conviction de la possibilité de faire marcher les navires avec l'hélice. On le prêta ensuite à M. Brunel, qui fit des expériences à Bristol, avec des hélices de différentes formes. Le résultat fut tellement satisfaisant, que *le Great Britain* destiné d'abord à avoir des roues, fut modifié pour une hélice.

En même temps que l'Amirauté l'adoptait pour la marine, l'opinion changeait dans le commerce. En 1840, *la Princess Royal* fut construite à Newcastle, *le Margaret* et *le Senator* à Hull, et *le Great Northern*, de 1500 tonneaux, à Londonderry. En 1841, *le Rattler* fut le premier navire fait pour la marine; il jaugeait 888 tonneaux, et reçut une hélice

semblable à celle de *l'Archimède;* mais plus tard elle fut racconrcie, et on tronva qu'un sixième de pas était la meilleure longueur. En 1843, 44 et 45, *le Rattler* fit des expériences avec diverses hélices, et des circonstances différentes de vent et de mer. Ses qualités furent assez satisfaisantes pour décider la construction de vingt navires à hélices sous la direction de M. Smith. Toutes étaient établies dans le massif-arrière, comme sur *l'Archimède* et *le Rattler,* et les autres navires ont été construits sur ce premier type.

Telle a été la carrière de Smith et tels en ont été les résnltats; il reste maintenant à raconter celle d'Ericsson, qni s'est, pour ainsi dire, avancé de front et avec un snccès aussi remarqnable. Les efforts de l'un des deux auraient probablement suffi, mais toutefois leur rénnion n'a pas été inutile et leurs travaux mutuels ont hâté la solution du problème.

Le Capitaine Ericsson est Suédois, et a jadis servi dans l'armée suédoise; mais il résidait depnis longtemps en Angleterre et il y était regardé comme un mécanicien d'une grande intelligence. Il demanda sa patente en Juillet 1836, et, pendant cette année, il fit de nombreuses expériences à Londres avec un bateau-modèle de deux pieds de long (0^m,61), qui tournait autour d'un bassin circulaire, et dont la petite machine était mue par de la vapeur. Les résultats furent satisfaisants, et en 1837, un navire de 13^m,72 de long, 2^m,44 de bau et 0^m,91 de tirant d'eau, fut construit sur la Tamise. On l'appela *le Francis B. Ogden;* il fut lancé le 19 Avril 1837 et essayé le 30 Août de la même année. Son succès fut très-remarquable; il atteignit de prime abord une vitesse de 10 milles à l'heure, et remorqua nn schooner de 140 tonneaux avec une vitesse de 7 milles et le paquebot américain *le Toronto*, avec $4\frac{1}{2}$ milles. Ces expériences furent fréquemment répétées, et le Capitaine Ericsson invita les lords de l'Amiranté à examiner la marche de son petit navire. Sir Charles Adam, doyen de l'Amirauté, sir William Symonds alors *Surveyor,* sir Edward Parry, l'amiral Beanfort et d'autres personnes de distinction, s'embarqnèrent à Sommerset-House sur la chaloupe de l'Amirauté, qui fut remorquée par *le Francis B. Ogden* avec une vitesse de 10 milles environ à l'heure. Malgré cette expérience favorable, le Capitaine Ericsson, par des raisons inexplicables, ne reçut aucun encouragement, et dit enfin que l'obstacle venait de ce que sir William Symonds pensait qu'une propulsion appliquée à l'arrière, empêcherait de gouverner convenablement. Il est reconnu que les navires à roues à aubes, qui ont été beaucoup allongés par l'avant, deviennent difficiles à

tenir debout au vent, parce qu'alors ils se trouvent dans les mêmes conditions que les girouettes, et que les roues à aubes qui répondent au pivot des girouettes sont portées trop de l'arrière : le *Surveyor* de la marine, pensait probablement que pour un navire à hélice, ayant son propulseur tout à fait à l'arrière, ce défaut serait augmenté. Une telle supposition était, il est vrai, naturelle à cette époque; toutefois, il est évident que ce n'était qu'une supposition, et qu'une telle question ne devait pas être traitée par des raisonnements, mais bien par des expériences. On aurait dû au moins la présenter franchement; mais il paraît qu'Ericsson quitta l'Angleterre par dégoût, et alla porter son invention en Amérique. Les raisons alléguées contre lui par les autorités de l'Amirauté, ne purent se présenter pour Smith; car, avant de se mettre en relation avec elles, ce dernier avait prouvé par de nombreux essais, que son navire gouvernait vent debout, et toute objection hypothétique était refutée par l'évidence des faits.

Dans l'hiver de 1837, un bateau de canal, nommé *Novelty*, reçut un propulseur d'Ericsson et navigua entre Manchester et Londres; les propulseurs avaient $0^m,80$ de diamètre et la machine seulement un cheval; cependant il atteignait 8 à 9 milles à l'heure. C'est le premier exemple d'un bateau à hélice employé dans un but commercial; mais la faillite de ses propriétaires le fit bientôt abandonner.

Ce fut alors qu'Ericsson s'entendit avec un officier de la marine des États-Unis, le capitaine Robert F. Stockton, homme de talent, d'énergie et de moyens. Il fut tellement satisfait des résultats d'Ericsson qu'il fit exécuter un bateau de $21^m,35$ de long, $3^m,05$ de base, et de 70 chevaux de force, muni du nouveau propulseur, qui fut nommé *le Robert-F.-Stockton*, et lancé à Liverpool en Juillet 1838; son premier essai fut exécuté en Septembre. Sa machine était directement articulée à l'hélice.

En Décembre 1838, *le Stockton* arriva dans la Tamise et fut essayé le 18 Janvier 1839 devant beaucoup d'hommes d'un grand savoir; il donna les résultats les plus satisfaisants. Le 16 Janvier, il remorqua avec une vitesse de 5,5 milles quatre grosses barques de charbon ayant en somme une largeur totale de 59 pieds (18 mètres). En Avril 1839, *le Stockton* quitta l'Angleterre sous le commandement du Capitaine Crane, et fi route à la voile pour l'Amérique. Vers la fin de 1839, le Capitaine Ericsson s'y rendit aussi et y résida toujours depuis.

Dans ses premières expériences, Ericsson employa deux hélices de

son système ; mais à un des essais auquels assista Smith, celui-ci lui suggéra de n'en mettre qu'une, ce qu'il fit ensuite.

Peu après son arrivée, Ericsson fit adopter son invention par la marine des États-Unis ; *le Princeton* en reçut un, et les machines tracées par lui, et entièrement situées sous la flottaison, furent les premières faites d'après ce principe. Son propulseur a été généralement adopté en Amérique pour la navigation commerciale. Des centaines de navires y sont maintenant à hélice, et le type Ericsson est universellement suivi.

Quand Ericsson quitta l'Angleterre, il laissa ses intérêts entre les mains du comte Adolph F. de Rosen, et, en 1843, ce dernier reçut l'ordre du gouvernement français de disposer un propulseur Ericsson à bord de la frégate de 44 canons, *la Pomone*, avec une machine de 220 chevaux de force, placée entièrement sous la flottaison comme à bord du *Princeton*. En 1844, le gouvernement anglais chargea le comte de Rosen d'installer, sur la frégate *l'Amphion*, une hélice mue par une machine de 300 chevaux, placée également en dessous de la flottaison. Les machines de ces deux navires furent en Europe les premières situées hors de l'atteinte des boulets, et les premières placées horizontalement et agissant directement sur l'hélice. Les pompes à air, mises aussi à plat, furent à double action et avec des soupapes en toile à voiles, pour diminuer les chocs, qui ont lieu en fermant de grandes ouvertures avec autant de vitesse. Les deux navires réussirent complétement ; la marche qu'on espérait était de cinq nœuds et on en obtint sept.

Le propulseur d'Ericsson, ayant été le premier introduit en France, y fut généralement adopté et employé sur plusieurs navires. Quelque temps après, les propriétaires de navires à hélice, ayant entendu parler de l'hélice n'ayant que deux ailes, usitée avec avantage en Angleterre, enlevèrent la moitié de celles d'Ericsson et les réduisirent à trois. On ne trouva d'avantage à ce changement que pendant l'été. Il est reconnu maintenant que le nombre d'ailes d'un propulseur dépend en même temps de son immersion et de son diamètre, ainsi que de la puissance motrice relativement à la résistance opposée par le navire. Un navire lourdement chargé, et de peu de tirant d'eau, sera plus efficacement poussé par une hélice de plusieurs ailes ; tandis qu'un bâtiment léger et rapide trouvera plus d'avantage dans une hélice à un petit nombre d'ailes, surtout s'il n'a pas son tirant d'eau trop limité. A bord des navires n'ayant qu'une machine auxiliaire, les hélices à plu-

sieurs ailes sont meilleures, et, dans tous les cas, elles doivent être plongées aussi bas que possible.

Tels ont été les mérites respectifs de Smith et d'Ericsson pour l'introduction pratique de l'hélice, et, en les comparant, il me paraît que ce dernier a l'avantage de la capacité, et Smith celui de la persévérance. Avant de s'occuper de l'hélice, Ericsson était un ingénieur accompli; Smith n'était qu'un amateur, ayant presque tout à apprendre, excepté son idée première. Les ressources mécaniques d'Ericsson lui donnèrent les moyens de surmonter des difficultés, ce que Smith n'aurait su faire : celui-ci devait donc, à son point de départ, accepter les expédients en usage parmi les mécaniciens, tandis qu'Ericsson pouvait les rejeter et les remplacer par ceux que lui suggérait son génie. Ainsi, pour obtenir la vitesse nécessaire à l'hélice, Smith fut contraint de se servir d'engrenages, parce que c'était le moyen approuvé par les mécaniciens orthodoxes; mais Ericsson rejeta les dogmes des ingénieurs et articula directement sa machine ou propulseur. Ce manque de ressources mécaniques doit avoir ajouté aux difficultés de la carrière de Smith. Mais sa persévérance constante et sa résolution se montrèrent supérieures à tous les obstacles, et il conserva jusqu'au bout la même énergie. La patente de Smith fut prise le 31 mai 1836; celle d'Ericsson le 13 juillet 1836. Le premier essai du bateau d'expérience de Smith fut fait le 31 mai 1836; celui du bateau à hélice d'Ericsson le 30 avril 1837. Pendant l'été de 1837, Ericsson montra son bateau aux lords de l'Amirauté, mais sans obtenir de résultat, à cause de la difficulté présumée de bien gouverner. En septembre 1837, Smith conduisit son navire à la mer et montra, par des expériences répétées que l'objection faite à Ericsson était sans fondement. Le navire d'Ericsson eut une plus grande utilisation que celui de Smith : la puissance de sa machine était plus forte et les détails mécaniques plus parfaits. Mais le navire de Smith réussit aussi complétement et fut le premier dans l'ordre du temps.

Je ne crois pas nécessaire de m'appesantir sur les expériences faites par Woodcroft, Lowe et autres, qui ont élevé des prétentions à ce sujet; parce que je ne les considère pas, malgré ce qu'ils ont fait, comme ayant contribué à l'introduction pratique de l'hélice. Woodcroft fit ses expériences sur l'Irwell, près de Manchester, en 1832 : une longue spirale en cuivre, avec un pas très-croissant, fut placée de chaque côté du bateau et tournée par un travail manuel, comme dans les expériences de Lyttleton en 1794. On obtint ainsi environ quatre milles à l'heure.

Les essais de Lowe furent exécutés sur la Tamise, en 1838, sur un bateau appelé le Wizard. Mais avant ce temps, Smith et Ericsson avaient résoln le problème. On a prétendu que Lowe fut le premier à se servir de segments établis sur un arbre immergé. Mais Ericsson employa cette combinaison avec succès avant la patente de Lowe, et il en fut de même de Brown qui mit une hélice à un navire en 1825. Il est vrai que ces expériences ne conduisirent à aucun résnltat pratique, et quoique Smith ne déterminât pas d'abord la meilleure longueur, l'accident nrrivé à son hélice montra qu'il était avantageux de diminuer celle qn'il avait adoptée. Cette proportion ne fut pas déterminée par Lowe et ne ponvait l'être qu'après les expériences du *Rattler* en 1844. Il ne paraît donc pas qne Lowe ait été le premier à se servir de segments d'hélice, montés snr un axe au-dessous du niveau de l'eau, ni que ce fût par ses essais, que les proportions maintenant en usage furent déterminées. Personne ne les aurait adoptées par la raison seule que Lowe les avait insérées dans une patente; car il n'était pas assez connu parmi les mécaniciens pour que son opinion eût du poids, et une hélice courte n'avait pas une supériorité assez évidente snr une longue, pour que sa simple publication la fît adopter universellement. La meilleure longueur d'une hélice ne sanrait être établie an hasard; car avant que des résultats assez certains soient obtenus, une série d'expériences soigneusement dirigées est nécessaire pour déterminer jusqu'à quel point l'hélice doit être raccourcie. Ces expériences furent faites par Smith sur *le Rattler*, et les faits qu'il y établit servent encore de gnide dans la pratique.

Ces considérations me paraissent concluantes, pour ce qui regarde la valeur morale des prétentions de Lowe à l'introduction du propulseur. Toutefois, il convient de répéter que longtemps avant la date de sa patente, plusieurs personnes, en Angleterre et dans les antres pays, en avaicnt pris ponr employer des ailes en hélice montées sur un axe et tournaut sous l'eau. La longue nomenclature qui précède en est la meilleure preuve.

Ces remarques finiront ce chapitre, et, quoique je sois convaincu de ses nombreux défauts, je pense que presqne tous les ingénieurs le regarderont comme une appréciation exacte des faits, et y verront une stricte justice rendue au mérite de chaque inventeur. Les mécaniciens savent que F. P. Smith a fait adopter l'hélice, au moins en Angleterre, et ce sont eux qui doivent avoir une juste opinion sur ce sujet. Les autres brevetés sont ceux qui, comme les mercenaires indiens, se sont tenus à

l'écart pendant que le combat avait lieu entre Smith et Ericsson, pour accourir ensuite réclamer les fruits de la victoire, et les cours de justice, égarées dans des questions qu'elles ne connaissaient pas, ont permis d'élever des plaintes, qu'il aurait fallu étouffer dès le principe. Mais quelles que soient les décisions prononcées, le jugement du public l'est aussi et sera ratifié par la postérité. Et lorsque, dans des temps éloignés, on cherchera comment la propulsion par l'hélice fut établie, on apprendra que cette importante amélioration fut exécutée, non par un mécanicien remarquable ou un savant académicien, mais par un fermier de Hendon, quittant la charrue comme un autre Cincinnatus pour travailler au bien de son pays. Avant cette époque, beaucoup de noms, plus imposants maintenant, seront effacés de la mémoire des hommes, mais celui du père d'un nouvel art vivra autant que l'art lui-même et tirera un nouveau lustre des années écoulées.

Tout en rendant à Smith et à Ericsson l'honneur qu'ils méritent, il serait mal de passer sous silence les services de ceux qui les aidèrent dans ces travaux importants. Au premier rang figure M. Wright, banquier, sans l'aide duquel la patente de Smith n'aurait pas été prise, ou serait tombée dans l'oubli comme tant d'autres. On doit aussi une grande reconnaissance aux MM. Rennie qui, parmi les ingénieurs, furent les premiers à bien augurer de l'hélice et à y consacrer de fortes sommes. Les personnes composant le *Screw propeller company* avancèrent des fonds considérables pour la construction de *l'Archimède* et l'étude de la question, et ces sacrifices n'ont été récompensés par aucun profit. Le capitaine Chappell et M. Lloyd avaient conçu une opinion favorable de l'hélice dès son apparition et si la marine l'adopta, ce fut surtout à cause de leurs rapports. M. Brunel la recommanda aussi pour la propulsion du *Great-Britain*, à la place des roues à aubes d'abord admises, et cela à une époque où l'hélice était encore regardée avec doute par la plus grande partie des mécaniciens. Quant à Ericsson, il paraît que ses premiers essais furent soutenus par M. Francis B. Ogden, consul des États-Unis à Liverpool, et son navire d'expérience reçut son nom. On a parlé de la liaison qui se forma ensuite entre lui et le capitaine Stockton de la marine des États-Unis, et c'est à leurs efforts réunis qu'il faut attribuer les succès de l'hélice en Amérique.

CHAPITRE III.

PRINCIPES SCIENTIFIQUES RELATIFS AUX NAVIRES A HELICE.

RÉSISTANCE DES FLUIDES.

Les lois de la résistance des fluides sont encore entourées de beaucoup d'obscurité. Cela vient sans doute des difficultés inhérentes au sujet, et plus encore de ce que les auteurs, qui ont cherché à éclaircir cette question, sont loin de l'avoir fait sans s'occuper des recherches antérieures. Il est plus aisé de copier que de penser et les erreurs des expériences de Newton et d'autres philosophes célèbres, ont été respectueusement acceptées par les écrivains qui sont venus ensuite et elles les ont entraînés à des inexactitudes, qui se sont répandues dans diverses parties des sciences physiques et sont devenues difficiles à déraciner. En pareil cas, il convient de rechercher d'une manière claire et pratique, quelques-uns des principes fondamentaux de mécanique, relatifs à la question qui nous occupe et il sera ainsi plus facile de prendre une nouvelle route, que de relever les erreurs, dont la voie adoptée se trouve semée.

La puissance mécanique est la pression agissant à travers l'espace : et la quantité de puissance mécanique développée par une combinaison quelconque, est mesurée par la quantité de pression multipliée par l'espace parcouru. Une pression de 1 livre agissant sur un espace d'un pouce parcourant un espace de 10 pieds et 10 livres tombant de 1 pied, ou 1 livre tombant de 10 pieds représentent 10 fois la force mécanique due à la chute de 1 livre de 1 pied : de même 1000 livres tombant de 1 pied équivalent à 1 livre tombant de 1000 pieds et le poids ou la pression multiplié par l'espace pendant lequel il agit, représente en général la puissance. Si par conséquent un corps tombe librement dans l'espace par l'action de la gravité, il ne perd en rien de sa force pendant la descente, puisqu'elle se trouve toute accumulée sous forme de moment et à l'instant où ce corps atteint le sol, il a en lui la somme de toute la force, qui suffirait pour le faire retourner au point d'où il est parti, si cette puissance accumulée était dirigée de ce côté. Ainsi dans tout corps

en mouvement la quantité de puissance mécanique est mesurée par son poids multiplié par l'espace parcouru en tombant jusqu'au point où il acquiert la vitesse qu'il possède, et si cette loi fondamentale est bien comprise et toujours retenue, elle préservera des faussetés qui se rencontrent si souvent à ce sujet dans les auteurs anglais. Dans la seconde loi du mouvement de Newton, il est établi que le changement de mouvement produit par l'action d'une force extérieure est toujours proportionnel à cette force: d'où l'on conclut que pour produire deux fois la quantité de mouvement dans un corps, il faut juste deux fois autant de force; c'est la doctrine maintenue par Robison, dans sa *Mechanical philosophy;* par Hutton, Gregory et beaucoup d'autres auteurs anglais qui ont cherché à expliquer ces questions. Cependant il est hors de doute que cette doctrine, quoique appuyée sur l'autorité de Newton, est entièrement fausse, comme Leibnitz l'a montré lors de son apparition et depuis Smeaton a prouvé par une série d'expériences soigneusement exécutées, qu'il faut pour doubler la vitesse d'un corps, quatre fois la quantité de puissance mécanique nécessaire pour lui donner son premier mouvement et par conséquent que le moment de corps de poids semblables, varie comme les carrés de leurs vitesses respectives. La vérité de cette conclusion est rendue manifeste en se reportant à la loi des corps tombants, par laquelle on trouve qu'il faut qu'un corps tombe d'une hauteur quadruple pour doubler sa vitesse finale, 9 fois la hauteur pour tripler cette vitesse et ainsi de suite. Cela montre que la hauteur et par conséquent la puissance développée en créant le mouvement, doit être comme le carré de la vitesse finale, et par conséquent que la vitesse finale de tous les corps tombants est comme la racine carrée des hauteurs, dont ils sont respectivement tombés. Ainsi, dans le cas de deux corps du même poids, en mouvement dans l'espace, mais dont l'un a une vitesse double de l'autre, le plus rapide a quatre fois autant de puissance mécanique emmagasinée en lui, que celui qui se meut le moins vite, car il faut qu'il soit tombé de quatre fois la hauteur pour acquérir une vitesse double. Et dans tous les cas, la quantité de puissance que peuvent exercer des corps de même poids est mesurée par les espaces pendant lesquels la pesanteur ou la pression agit. Un boulet parcourant 2000 pieds par seconde a quatre fois le moment d'un boulet semblable ayant une vitesse de 1000 pieds: et toutes les particules d'un cours d'eau coulant avec une vitesse de 10 milles à l'heure, ont quatre fois le moment de celles d'un courant de 5 milles à l'heure. Par consé-

quent chaque particule du courant le plus rapide exercera quatre fois l'effet de celles de l'autre sur les corps qu'il pousse. Mais dans le courant le plus rapide, non-seulement chaque particule pousse avec une force quadruple, mais il y a le double des parties qui agissent dans le même temps : or une force quadruple pour chaque particule, et un nombre double de ces particules dans le même temps, donnent une impulsion huit fois aussi grande dans le même temps et pour une vitesse double du courant. Par conséquent, on trouve que dans les courants d'eau ou les moulins à vent, quand la vitesse du courant est doublée, la puissance développée est environ huit fois plus grande qu'auparavant: et on en déduit que pour obtenir une vitesse double, un navire à vapeur exige huit fois la quantité de puissance primitive. Il est évident que ces résultats ont rapport, non-seulement à l'accroissement de vitesse des particules de matières, mais aussi au plus grand nombre de celles mises en mouvement et une *quantité donnée d'eau*, coulant avec une vitesse double, exerce quatre fois la force qu'elle avait d'abord. De même un navire à vapeur, pour accomplir un voyage dans la moitié du temps, demandera quatre fois la quantité de charbon pour parcourir le même espace, parce que les huit fois autant de charbon nécessaire pour obtenir la vitesse double, ne serviront que pendant la moitié du temps. La quantité de particules à déplacer, pour faire un *voyage donné*, est la même quelle que soit la vitesse; mais le nombre de particules déplacées pendant *une heure* diffère avec chaque changement de vitesse et par conséquent la puissance exercée varie dans une proportion différente. D'après cela, on peut assurer, en général, que la puissance ou la dimension d'une machine nécessaire pour pousser un navire, augmente comme le cube de la vitesse par heure qu'on veut atteindre; mais que la consommation de combustible ne s'accroît qu'en raison du carré de la vitesse, si on la rapporte au nombre de milles parcourus.

Il peut être utile de comparer à ces principes ceux établis par quelques-uns des auteurs les plus remarquables sur les théories mécaniques. Robison, dans son *Traité de Philosophie mécanique* (page 269, vol. II), donne ce qui suit, comme proposition fondamentale de la résistance des fluides; les résistances (par la troisième loi du mouvement) et les impulsions des fluides sur des corps semblables sont proportionnelles aux surfaces des corps solides, aux densités des fluides et aux carrés des vitesses réciproques, et Robison dit qu'il a emprunté cette démonstration des *Principes* de Newton, livre II, proposition 23. Dans l'ouvrage de

Tredgold sur la machine à vapeur, on voit un appendice sur les roues à aubes, où on trouve les mêmes doctrines. A la page 122, M. Mornay écrit ce qui suit : Afin d'être à même de calculer la quantité absolue de force nécessaire pour produire un effet donné, il est indispensable de connaître les lois de la résistance opposée par les fluides aux corps solides en mouvement, auxquelles on donne généralement pour base le théorème suivant : Si une surface plane se meut avec une vitesse donnée dans un fluide au repos, dans une direction perpendiculaire à elle-même, la résistance est proportionnelle à la densité du fluide et au carré de la vitesse de cette surface.

Il ajoute : On admet que la résistance d'un plan en mouvement dans un fluide au repos, est égale à la pression du fluide sur le plan, lorsque celui-ci est fixe et que le fluide a dans ce dernier cas la vitesse qu'avait le plan dans le premier : dans cette hypothèse, le rapport du carré des vitesses est expliqué de deux manières très-différentes. La première est que la résistance doit varier comme le nombre des particules, qui frappent le plan dans un temps donné multiplié par la force de chacune contre le plan; mais le nombre et la force sont tous deux comme la vitesse, donc la résistance est comme le carré de cette vitesse. La seconde explication est : Que la force du fluide en mouvement est égale au poids ou à la pression qui produit ce mouvement, qu'on sait être égale au poids ou à la pression d'une colonne de fluide, dont la base est égale à la surface et la hauteur à celle dont le corps devrait tomber pour acquérir la vitesse donnée. M. Mornay ajoute que ces explications sont tirées du *Treatise on mechanics* de Gregory, et dans Hutton et d'autres auteurs anglais des faits semblables se rencontrent : cependant il est à peu près certain qu'ils sont tous erronés et ils découlent de ce que Newton avait avancé, que la force existant dans les corps en mouvement se mesurait par leur vitesse et non par le carré de cette vitesse, comme on le sait maintenant. Par conséquent, si la résistance varie comme le nombre des particules multiplié par la force de chacune, il faut qu'elle varie comme le cube de la vitesse; car le nombre des particules varie comme la vitesse, et la force de chacune comme le carré de cette vitesse, et la vitesse multipliée par le carré de la vitesse fait le cube de cette vitesse. Conséquemment, il ne saurait être vrai que l'impulsion d'un fluide en mouvement produise une pression seulement égale à celle due à la colonne de liquide qui produirait ce mouvement, comme l'avait remarqué Bernouilli, il y a longtemps. Car, l'eau s'échappant d'un réser-

voir à la même vitesse qu'un corps solide tombant librement de la surface supérieure du réservoir au niveau de la sortie, et, par les lois des corps tombants, la vitesse finale est au juste double de la vitesse moyenne : il est donc clair qu'un jet sortant horizontalement, après avoir acquis le maximum de vitesse due à la hauteur de la colonne, franchira une distance égale à deux fois celle qu'un corps parcourrait en descendant de la surface supérieure à celle de l'orifice. De là Bernouilli inférait que la pression hydraulique accumulée, par laquelle une veine est projetée par un orifice, dans le côté d'un vase, est égale à la colonne du fluide ayant pour base la section de la veine et pour hauteur *deux fois* la chute capable de produire la vitesse d'écoulement.

La théorie de Bernouilli fut adoptée et développée par Euler qui donne une formule pour l'effet de la percussion d'un jet d'eau sur une surface plane. Soient R, la force d'impulsion avec une percussion permanente; A, l'aire de la veine : H, la hauteur due à la vitesse du jet ; N, la hauteur due à la vitesse de l'eau reflétée; Φ l'angle de l'eau reflétée avec l'axe. Alors $R = 2aH\left(1 - \frac{\sqrt{h}}{\sqrt{H}} \cos \Phi\right)$. Les expériences de Morosi et de Bidone ont prouvé par des faits matériels les doctrines d'Euler et de Bernouilli à ce sujet. Euler dit que la valeur théorique de la percussion d'une veine fluide, peut augmenter jusqu'à ce qu'elle soit égale au poids d'une colonne de fluide de la même base que la section de la veine et d'une hauteur quatre fois plus grande que celle due à la vitesse de la veine. Bidone a trouvé que le choc soudain d'un jet sur une surface est à la force du jet, quand il est permanent, comme 1,84 est à 1 ; mais cet effet peut être en partie attribué au mouvement acquis par les parties de l'instrument destiné à mesurer la force de percussion.

D'après les résultats des expériences faites par le colonel Beaufoy, sur les résistances des navires dans l'eau, il paraît qu'à une petite vitesse, telle que 2 milles à l'heure, le poids nécessaire pour traîner les corps dans l'eau varie comme le carré de la vitesse; mais qu'à de plus grandes vitesses, comme 8 milles, le poids nécessaire pour tirer n'augmente pas dans une proportion aussi grande. Le poids nécessaire pour vaincre le frottement d'un corps en mouvement dans l'eau paraît varier à peu près comme la puissance 1,7 de la vitesse, mais cette proportion diminue un peu avec de grandes vitesses.

On a trouvé, par des expériences, que le frottement d'un mètre carré de planche se mouvant dans l'eau, comme le fait la carène d'un navire,

était égal à $0^{k},068$ par mètre carré pour une vitesse d'un mille à l'heure, c'est-à-dire qu'il faudrait un poids de $0^{k},068$ pendu au bout d'un fil passant sur une poulie pour vaincre le frottement d'un mètre carré de planche passant dans l'eau avec la vitesse d'uu mille marin à l'heure. Pour 2 milles ce frottement exige $0^{k},228$ par mètre carré; pour 3 milles, c'est $0^{k},462$; pour 4 milles, $0^{k},742$; pour 5 milles, $1^{k},022$; pour 6 milles, $1^{k},495$; pour 7 milles, $1^{k},950$; pour 8 milles, $2^{k},437$. Et, en poussant plus loin cette loi, il se trouve qne, pour une vitesse de treize milles marins à l'heure, il faut $5^{k},849$ pour vaincre le frottement de chaque mètre carré de la surface de carène. A 2 milles nautiqnes par heure, le poids uécessaire varie comme la puissance $1^{k},823$ de la vitesse, tandis qu'à 8 milles à l'heure ce même poids change comme la puissance 1,713 de la vitesse. En général, on peut assurer que le poids uécessaire pour traîner uu corps dans l'eau change à peu près comme le carré de la vitesse, et comme la distance parcourue par le poids en descendant varie comme cette vitesse, il en résulte que la *puissance dépensée* dans un temps donné varie comme le cube de la vitesse. Toutefois, la résistance n'agit pas comme le suppose Newton, car l'eau ne consiste pas en petites boules se frappant les unes indépendammeut des autres, mais l'influence mutuelle des particules qnand l'eau est réfléchie par la partie frappée, la viscosité, le frottement, et d'autres éléments introduisent d'autres conditions que celles qu'on suppose par cette théorie. Il est à peu près certain, que tandis que les résistances réunies varient, comme uous l'avons vu pour les vitesses ordinaires des uavires, leurs éléments séparés changent suivant des lois très-différentes entre elles. Don George Jnan, l'un des auteurs les plus habiles qui aieut traité de l'architecture navale, et dont les ouvrages sont peu connus dans ce pays, a récapitulé les erreurs des écrivains précédents pour établir ensuite une nouvelle théorie de la résistance des fluides, qu'il met en accord parfait avec les faits et les principes connus de la science. Il établit que les résistances des corps se mouvant dans les fluides varient, comme les densités des fluides, comme les surfaces exposées à leur contact, comme la racine carrée de la profondeur à laquelle ils sont plongés, comme les vitesses simples et comme les sinus des angles d'incidence sur les surfaces. Cette loi existe lorsque la surface est complétement plongée et quand la partie antérienre du corps ressemble à la postérieure. Mais quand uue partie est eu dehors du fluide, il y a une nouvelle quautité à considérer, laquelle ne dépend uullement

de la surface frappée, mais simplement de la vitesse, et cette quantité n'est ni comme les simples vitesses, ni comme leur carré, mais comme leur puissance quatrième. Dans certains cas, il doit entrer dans l'expression de la résistance une troisième quantité qui est comme les carrés des vitesses et comme les surfaces frappées, et enfin il y a des circonstances où il faut considérer une quatrième quantité, qui ne dépend en rien de la vitesse, mais seulement des surfaces frappées. D'après cette théorie, la résistance dépend donc de quatre quantités, dont quelques-unes disparaissent dans certains cas, et dans les recherches relatives aux navires à voiles, ces quantités se réduisent ordinairement à la première qui ait été mentionnée. Toutefois, lorsqu'il s'agit d'une grande vitesse, il faut faire entrer la seconde en ligne de compte, tandis que pour la troisième, qui cependant a été la seule qui ait réclamé l'attention, il n'est ordinairement pas nécessaire d'y faire attention.

Ce savant auteur déduit aussi, de sa théorie, que les navires peuvent non-seulement marcher aussi vite que le vent, mais même plus rapidement : résultat que les marins savent avoir été atteint quelquefois. Il établit également que cette théorie s'accorde avec les expériences faites avec les cerfs-volants et avec les résultats de Smeaton pour déterminer la force d'action de l'eau sur les roues. Les erreurs des lois antérieurement admises vicient, dit-il, tous les calculs qui ont été faits sur l'angle que les voiles doivent faire avec la quille et le vent, sur la pression sur les voiles relativement à la stabilité et d'autres questions de cette nature. Dans les théories précédentes, la courbe de la voile et l'angle que le navire fait à cause de la pression latérale du vent avaient été négligés, le tangage et le roulis avaient été considérés comme ayant rapport aux lois du pendule, tandis qu'en réalité ces mouvements sont occasionnés par la forme et la dimension des vagues. Les avants de la forme des solides de la moindre résistance, qui ont été souvent recommandés par les mathématiciens, comme avantageusement applicables aux navires, auraient, dit-il, le défaut qui leur est propre, celui d'être submergés dans les vagues, et, pour ne rien dire des autres objections, les chocs de la mer et l'accroissement d'immersion, causeraient alors une diminution de vitesse, qui neutraliserait les avantages de formes plus fines. Cette objection n'est toutefois fondée que lorsque l'avant est découpé finement, sans qu'il en soit de même de l'arrière.

Lorsque la voile d'un navire, considérée comme un plan, est frappée par le vent, elle serait emportée dans la direction perpendiculaire à sa surface, si elle était libre. Cette ligne s'appelle la ligne de la force motrice, et celle suivie par la réunion des voiles placées sous différents angles, est la ligne moyenne de la force motrice. Si un navire n'était pas sujet à éprouver d'autres forces, ou d'autres obstacles que l'impulsion qu'il reçoit de ses voiles, il suivrait toujours la ligne moyenne de la force motrice, et le même résultat aurait lieu, si la coque consistait en une portion de cylindre ou de sphère. Mais, dans un navire de forme ordinaire, la résistance latérale étant plus grande que celle par l'avant, il est clair que cette inégalité fera marcher le navire dans une direction autre que celle de la force moyenne. Il est aussi évident que si cette résistance était infinie relativement à celle de l'avant, ou, ce qui revient au même, si le navire n'éprouvait aucune difficulté à séparer l'eau par l'avant, il marcherait suivant la ligne de la quille, quelle que fût sa direction relativement à la ligne moyenne de la force motrice; mais comme la résistance de l'avant n'est pas nulle, ni infiniment petite relativement à celle éprouvée par le côté, il est naturel de supposer que le navire ne suivra ni la ligne de la quille, ni celle de la force motrice, mais une troisième ligne intermédiaire, faisant avec la quille ce qu'on nomme l'angle de dérive. Dans des navires de même résistance latérale, la dérive dépendra principalement de la facilité avec laquelle ils diviseront l'eau : et comme une hélice aide à séparer l'eau, les navires qui en sont pourvus dériveront moins que ceux à voiles. Avec de légers vents du travers, l'hélice opère aussi d'une façon avantageuse, en portant toujours le navire, dans un nouveau courant d'air, et, de la sorte, le vent ne reste pas stagnant entre les voiles, et la force qu'il est appelé à produire est mieux employée.

Pour obtenir le maximum d'effet d'une certaine quantité de vent, les voiles doivent se mouvoir avec environ la moitié de la vitesse du vent lui-même; et si le navire n'avance que très-lentement, le vent est réfléchi par les voiles, avec une vitesse presque égale à celle qu'il avait en arrivant, et alors une très-petite impulsion est communiquée au navire. Il en résulte que les bâtiments ayant une vitesse considérable, par l'aide de la vapeur ou autrement, devront, dans beaucoup de circonstances, utiliser ou employer une plus grande partie de la puissance du vent que des navires lents, dont les voiles réfléchissent l'air presque avec sa force originelle. Quelle que soit la force ou la vitesse que perde

le vent, le navire en profite, et le but à atteindre est d'intercepter la plus grande colonne possible, et de l'empêcher d'être reflété par les voiles. L'étendue de la colonne et la différence entre la vitesse d'arrivée et celle qni résulte de la rencontre, représente la force acquise par le navire.

Il serait étranger au but de cet ouvrage de pousser plus loin la discnssion de ces questions et de montrer le doute et le désaccord qni existent encore au sujet des résistances des fluides. Mieux vaut indiquer d'une manière générale quelques lois on axiomes, qui penvent être admis comme se rapprochant de la vérité, et qui ont été dédnits, non de considérations théoriques, mais d'expériences fréquemment répétées sur des navires de formes et de pnissances motrices différentes. Quelle que soit la théorie des fluides qn'on admette, il n'en est pas moins certain que, dans les cas des navires ordinaires et des vitesses habituelles, la pnissance nécessaire pour obtenir une vitesse quelconque est évaluée par l'équation $\frac{S^3 . A}{C}$ = puissance en chevaux, dans laquelle S est la vitesse en milles par heure; A, l'aire de la maîtresse section en pieds, et C, un certain nombre ou coefficient, qui varie avec la forme du navire, et qu'on trouve dans la table de l'utilisation des navires à hélice de l'État, donnée dans l'appendice. Ce coefficient, tel qu'il est donné dans cette table, est obtenu en multipliant le cube de la vitesse du navire en milles marins par heure, par la section immergée en pieds carrés (ou en mètres carrés), et divisée par la force de la machine en chevaux : de la sorte on obtient un nombre au moyen duquel on calcule la force nécessaire pour obtenir approximativement d'autres vitesses, avec des formes de navires à peu près semblables.

Toutes les fois que l'ean frappe un corps solide, elle est réfléchie de la surface avec une certaine vitesse, et, par conséquent, elle occasionne une perte de force; cette canse diminue notablement l'effet ntile de l'eau dans les roues hydrauliques et celles à aubes, surtout si elles frappent l'eau avec un choc considérable. Bidone conclut de ses expériences que l'eau, communiquant sa puissance par impulsion ou par choc, ne produit que la moitié de l'effet qu'on obtiendrait par son poids et sa vitesse. Dans les roues hydrauliques, on observe qn'un peu moins de la moitié de la puissance théorique du courant est employée en moyenne à tourner la roue; et dans les vapeurs poussés par des aubes, dont la surface est généralement trop petite, on trouve qu'il n'y a pas beaucoup plus

de la moitié de la force de la machine utilisée à pousser le navire; le reste étant perdu à remuer l'eau. Par conséquent, il devient important, dans toute sorte d'appareil propulsif, de prendre soin de causer très-peu de mouvement dans l'eau, afin qu'en poussant le navire à travers une longueur donnée, l'eau sur laquelle le propulseur agit soit repoussée en arrière à la plus petite distance possible; et toutes les autres choses égales, l'appareil qui remplira le mieux cette condition sera le plus propre à la propulsion. Toute la force de la machine est nécessairement dépensée, ce qui ne l'est pas à troubler l'eau, l'est à pousser le navire. Avec les roues à aubes, plus les palettes sont grandes, moins l'eau est troublée, et plus elle se rapproche alors de la résistance d'une surface solide; c'est une règle générale. Par conséquent, il devient important pour les navires à hélice, et pour ceux à roues, de rendre la surface poussante ou résistante aussi grande que possible, parce que le propulseur aura d'autant moins de recul qu'il aura plus d'appui sur l'eau, et que la vitesse du navire en sera augmentée. Toutefois, il y a aux dimensions des aubes des limites pratiques qui augmentent beaucoup les difficultés d'obtenir de grandes vitesses avec elles seules; car il ne convient pas de leur donner beaucoup de hauteur, parce que l'eau n'arriverait pas à leur centre, et qu'il y a des objections fondées à ce qu'on les fasse très-longues.

Quand une locomotive est mise en mouvement sur un chemin de fer, la force avec laquelle la roue motrice tourne est moindre que celle agissant sur le piston, dans le rapport de la plus grande vitesse de la jante; et si la circonférence de la roue motrice est 20 pieds et le double coup de piston de 2 pieds, chaque 100 livres de pression sur le piston sera balancé par 10 livres sur la roue motrice. Par conséquent, si 11 livres de pression contraire sont appliquées à la roue motrice, contre les 100 livres du piston, la machine sera d'abord arrêtée et ensuite poussée à l'envers. Si cependant, au lieu d'appliquer une pression contraire, le chariot était retenu fixe, et que les roues tournassent sur les rails, la machine marcherait de plus en plus vite jusqu'à ce que le frottement devienne assez fort pour balancer la pression sur le piston, et à cette vitesse les roues continueront à tourner, tant qu'il arrivera de la vapeur au piston. Dans un navire à vapeur, l'opération des roues ou de l'hélice est presque la même que dans le cas précité. Si un navire à vapeur est amarré par l'arrière, et la machine mise en mouvement, sa vitesse augmentera jusqu'à ce que la résistance sur le centre de pression

des aubes balance exactement la pression sur le piston[1]. Maintenant, comme la résistance sur le centre d'action doit juste balancer l'effort exercé sur le piston, il en résulte que la pression qui pousse le navire en avant sera exactement la même, que le navire soit au repos ou en mouvement, en supposant que la machine est toujours également fournie de vapeur : et la résistance occasionnée au centre de pression des aubes, sera la même, que ces aubes soient grandes ou petites. Seulement, si elles sont petites, il faudra une plus grande vitesse de révolution pour occasionner la résistance nécessaire, afin de balancer la pression sur le piston : une plus forte consommation de vapeur sera le résultat de cet accroissement de vitesse, sans que ce soit compensé par aucun avantage. Si, au contraire, le rayon de la roue est diminué, la pression sur chaque aube sera augmentée; car une plus grande surface résistante sera nécessaire pour balancer la pression des pistons, en conséquence de la diminution du levier agissant sur cette surface; et lorsqu'un petit diamètre est employé, il faut une grande surface d'aubes; autrement, le centre de pression passera avec une plus grande vitesse à travers l'eau, ce qui implique naturellement une augmentation de recul. Dans le cas d'une hélice, les mêmes raisons amènent à des résultats semblables. Si on met de côté la perte de puissance due au frottement de l'hélice dans l'eau et la résistance de son arête coupante, il sera évident que la poussée en avant de l'arbre sera la même, quelles que soient les dimensions de l'hélice : car la vitesse de rotation ira en augmentant, jusqu'à ce que la résistance éprouvée par l'hélice balance la pression des pistons; et si cette dernière est considérable, l'impulsion ou la poussée de l'hélice le sera aussi. Mais si l'hélice est trop petite, alors sa vitesse de rotation sera beaucoup plus rapide que celle du navire, et il y aura une plus grande consommation de vapeur, que si l'hélice avait de grandes dimensions. D'après cela, il est clair qu'il ne convient pas d'employer un diamètre d'hélice très-petit, relativement à la maîtresse section ou à la résistance à vaincre, non plus qu'une petite surface d'aubes. Cependant

[1] Le centre de pression ou centre d'action des aubes, est le point où la pression en dessus et en dessous est égale; autrement dit, celui où on peut supposer réunie toute la force produite par l'aube en poussant l'eau. Ce point n'est pas au centre de figure à cause de la différence de vitesse des bords de l'aube inégalement éloignés de l'axe de rotation et de la durée plus longue d'immersion du bord extérieur. Ces raisons le font placer à 0,4 de la largeur de l'aube à partir du bord extérieur; c'est-à-dire que le cercle d'action de la roue a un rayon de 0,4 de largeur des aubes plus grand que celui passant par le centre de figure.

il est aussi possible de faire une hélice trop grande que de construire un navire trop aigu, et cela aura lieu quand le frottement résultant du surcroît de diamètre, la résistance plus grande de l'arête coupante et autres causes analogues de pertes, deviendront plns fortes qne celle qui provient du recul.

D'après quelques expériences faites par M. Brunel, à Bristol, en 1840, avec un demi-disque de métal de 5 pieds 9 pouces (de $1^m,75$) de diamètre monté sur un arbre et tournant dans l'eau, il paraît qu'il fallait 6,4 chevaux de force, mesurés par l'indicateur, pour donner à l'arbre une vitesse de 101 révolutions par minute, qnand le disqne tournait dans l'air et sans contact de l'eau; et que 9 chevanx, par l'indicateur, étaient nécessaires pour donner 100 révolntions par minute quand le disque tournait dans l'eau. De là il fut conclu, que la résistance qu'une hélice d'une même surface et d'nne même arête coupante que le demi-disque éprouve de la part de l'eau avec une vitesse de 100 révolutions par minnte, serait surmontée par environ 3 chevaux de force de la machine. Cela équivant à environ 55 livres placées à l'extrémité du bras; en effet, pour 5 pieds 9 pouces ou 69 ponces de diamètre, on a $\frac{69 \times 3146}{12} = 1806,42$ pieds par minute, et trois fois 33000 livres ou $\frac{99\,000 \text{ livres}}{1806,42}$ donnent environ 55 livres. Naturellement le poids appliqué au centre d'action serait plus grand que celui que nous venons de déterminer. Il est probable que dans ces expériences les résistances étaient un peu diminuées, parce qu'il paraît qu'on ne prenait pas les précautions convenables pour empêcher l'eau dans laqnelle le demi-disque tournait, de prendre elle-même un mouvement de rotation. Les expériences de Beaufoy, déjà mentionnées, mettent à même d'estimer le frottement, et on obtiendrait le même résultat en comparant la sortie réelle à la sortie théorique de l'eau par les tuyaux. La vitesse théorique est la même que celle d'un corps tombant de la hauteur de la colonne entre les deux niveaux. La vitesse réelle est obtenne par la règle suivante : multipliez 2500 fois le diamètre du tnyau en pieds par la hauteur en pieds, et divisez le produit par la longueur en pieds augmentée de 50 fois le diamètre; la racine carrée du quotient sera la vitesse de la décharge en pieds par seconde. En prenant la surface frottante de l'hélice réduite au même nombre de pieds carrés, se mouvant avec la même vitesse moyenne, et un tuyau tel qu'une livre d'eau couvre juste un pied carré de sa surface intérieure, il est clair que la chute de l'eau

dans le tuyau, sur une longueur d'un pied, sera la même que le frottement en livres sur un pied de sa surface intérieure, qui de son côté est égal au frottement moyen exprimé en livres sur un pied carré de l'hélice; mais il faut que le tuyau ait une pente calculée de manière que la vitesse de l'eau égale celle de l'hélice, sans l'excéder. Toutes les rivières, qui coulent avec une vitesse uniforme, ont la gravitation de l'eau sur le plan incliné du lit, balancée par le frottement contre le fond et les côtés du canal; et avec une pente donnée, la vitesse d'une rivière augmente en raison de sa profondeur et de sa largeur, la surface frottante devenant relativement moindre quand le volume de l'eau est plus grand.

Il résulte des observations précédentes que les lois de la résistance des fluides n'ont pas été confirmées d'une manière assez concluante pour qu'on s'y appuie entièrement dans les cas qui diffèrent de ceux de la pratique. Dans les navires à vapeur de forme et de vitesse ordinaires, la résistance de la carène, ou, ce qni revient an même, la poussée que doivent exercer les roues à aubes ou l'bélice, s'accroît, à peu de chose près, comme le carré de la vitesse; et pour commnniquer une vitesse double à un navire, la machine doit travailler non-seulement contre un obstacle quadruple, mais se mouvoir en outre avec une vitesse double; la puissance développée dans un temps déterminé est donc à pen près comme le cube de la vitesse du navire. Par contre, si la force d'une machine est augmentée, tandis que l'immersion et les autres éléments du navire n'ont pas varié, la vitesse obtenue augmentera dans le rapport de la racine cubique de la nouvelle puissance. Par conséquent, si la force motrice d'un navire est doublée, le sillage sera accéléré dans le rapport de la racine cubique de 1 à celle de 2, ou, en d'autres termes, comme 1 est à 1,25. Si la vitesse première était 10', le résultat d'une puissance donble serait 12 $\frac{1}{2}$ nœuds par heure. On peut se fier à un tel résultat pour des vitesses de 10 et 12 nœuds, mais il n'en faudrait pas inférer que la même loi sera exacte pour des vitesses de 18 et 20 nœnds, en supposant la forme du navire semblable. En effet, il est connu qu'avec de grands sillages, la résistance d'un navire augmente dans un rapport plns grand que le carré de la vitesse. La cause principale de cet accroissement de résistance, avec de grandes marches, peut être attribuée à la difficulté qu'éprouve l'eau à remplir l'espace à l'arrière du navire, avec une célérité suffisante pour y exercer sa pression habituelle; de sorte que dans ce cas, outre les résistances ordinaires, le navire éprouve une différence de pression bydrostatiqne due au défaut de gravitation de

l'eau contre l'arrière. Par conséquent, pour atteindre de grandes vitesses, il est indispensable de faire l'arrière très-fin, sans quoi le navire, en traversant l'eau, laisse derrière lui un espace vide, et la résistance est énormément augmentée. Chaque vitesse différente exige réellement une forme de carène correspondante, pour amener la résistance à la marche au minimum. Cependant un navire d'une puissance et d'un déplacement déterminés, pourrait être tellement allongé, que sa résistance serait augmentée par le surcroît de frottement de sa carène et cela dans un rapport plus grand que la diminution d'obstacle obtenue par des formes aiguës. Et lorsqu'on a donné des formes assez fines pour amener la résistance à son minimum pour une force motrice déterminée, on trouvera qu'il faut rendre les extrémités encore plus aiguës si on veut employer une plus grande force motrice. Il s'est même présenté des cas où des navires ont été faits trop aigus, au point que la même puissance appliquée à de grosses formes donnait de meilleurs résultats.

Le désavantage du manque de finesse à l'arrière est notablement augmenté si le bâtiment navigue sur des eaux peu profondes; car alors le frottement de l'eau sur le terrain l'empêche de remplir l'espace vide produit par le mouvement du navire. En pratique, les eaux basses équivalent donc à un grossissement des formes de l'arrière. En d'autres termes, si on prend deux navires de même marche, et que l'un d'eux navigue en eau basse, sa vitesse sera autant diminuée par la difficulté de l'eau à s'écouler vers l'arrière que si on grossissait les formes de l'arrière de l'autre navire. Par conséquent, la finesse adoptée par des navires marchant en eau profonde sera très-augmentée dans ceux destinés à naviguer avec la même vitesse, sur des eaux basses. Dans tous les cas, il a été observé que les navires marchant sur peu d'eau, atteignent leur plus grande vitesse lorsqu'ils sont très-chargés de l'avant. Alors l'arrière est partiellement élevé hors de l'eau, et, par conséquent, plus fin qu'avec le tirant d'eau ordinaire: et les navires destinés à marcher sur des lacs ou des rivières peu profondes, doivent non-seulement être très-fins à l'arrière, mais tirer plus d'eau de l'avant, afin que la quille s'élève vers l'arrière jusqu'à ce qu'elle sorte de l'eau. Plus la vitesse est grande, plus l'arrière doit être fin, et il n'y a pas d'autre manière de naviguer rapidement sur des eaux basses[1].

[1] Il résulte de là, que tout vapeur destiné à entrer en rivière doit se mettre, autant que possible, sur nez; il tire un peu moins d'eau, marche mieux, et comme il touche d'abord par l'avant, il a moins de peine à se relever s'il échoue.

FORME ET PROPORTIONS DE L'HÉLICE PROPULSIVE.

L'hélice, telle qu'elle eet employée pour la propulsion des navires, consiste en deux ou trois ailes héliçoïdales on tordues, établies sur un axe et tournant dans l'eau à l'arrière. L'arbre est entouré d'nne boîte à étoupe dans la partie où il perce le navire, afin d'empêcher l'entrée de l'eau; et l'arrière de cet arbre est soutenu par un support placé contre l'étambot, qui repose sur la quille et porte le gouvernail. L'hélice tourne dans cette partie mince des façons extrêmes de l'arrière, où est pratiqué un trou de grandeur suffisante pour la recevoir; et la poussée ou pression vers l'avant occasionnée par son action sur l'eau, agit sur un point de l'intérieur du navire, qui est abondamment lubrifié. Le graissage le plus parfait est nécessaire sur ce point pour obvier au frottement causé par la poussée de l'hélice et la rotation de l'arbre, et il y a eu des cas où la tête de l'arbre est devenue rouge blanc, malgré un courant d'eau qui tombait dessus, et s'est trouvée soudée au grain d'acier sur lequel elle portait. C'est la poussée de l'arbre qui fait marcher le navire, et il est possible d'en mesurer l'intensité, au moyen d'un dynamomètre, placé contre la tête de cet arbre.

Le diamètre de l'hélice est celui du cercle décrit par les ailes, et sa longueur est celle occupée par les ailes sur l'arbre tournant. Si un fil est tourné sur un cylindre suivant une spirale, il forme une héliee à un seul filet. Si deux fils sont tournés de même, en laissant entre eux des espaces égaux, ils donneront une hélice à double filet : trois fils enroulés d'une manière eemblable donneront une hélice à trois filets. Si, au lien de fils, on tonrne des lames plates, appuyées de champ contre le cylindre, de manière qu'un de leurs côtés soit soudé avec ce dernier, et qu'on en conpe une tranche, il n'y aura qu'une partie de l'aile attaehée à cette tranche, si l'hélice est à nn seul filet; il y en aura deux, si ce dernier est double; troie, s'il est triple, et ainsi de suite. Le nombre d'ailes de toute hélice propulsive détermine le nombre de filets dont elle est composée, et cela existe, quelque mince que soit la tranche faite dans l'hélice.

Le pas d'une hélice est la distance mesurée, dans la direction de l'axe, entre un filet et ce même filet, au point où il a terminé une révolution complète. Ainsi un escalier en spirale est une hélice à un filet, et son pas est la distance verticale entre une marche et celle qni est placée juste

au-dessus. Les hélices propulsives ordinaires ne sont pas assez longues pour former une révolution complète, et, en parlant de leur pas, il faut imaginer l'hélice continuée jusqu'à ce que la révolution soit finie, et cela en conservant le même angle que celui de la partie existante. Une portion quelconque de cette révolution peut être employée comme propulseur, et la longueur d'une hélice n'a pas de rapport avec son pas.

La forme d'hélice la plus employée en ce pays-ci, est celle à deux ailes ou filets. Le pas est ordinairement égal au diamètre, ou un peu plus grand, et la longueur est égale au 1/6 du pas. La surface poussante de l'hélice est mesurée par la surface du cercle décrit par les ailes, ce qu'on appelle l'aire du disque de l'hélice. Ce disque doit avoir environ 1 pied carré de surface pour chaque 2 1/2 ou 3 pieds carrés de la maîtresse section immergée (ou 1^{m} carré pour chaque 2^{m},5 ou 3^{m} de la maîtresse section). Ainsi un navire de 226 pieds carrés (21^{m}) aura une hélice d'un diamètre tel que la surface du cercle soit de 75 1/2 pieds carrés (7^{m}), ce qui répond à 10 pieds de diamètre (3^{m},05). Le pas d'une telle hélice aura 11 pieds (3^{m},35), et la longueur sera de 1^{p},10 pouces (0^{m},54). Ces proportions sont celles des hélices à deux branches, mais elles s'appliqueraient aussi à celles à trois ailes. Plus les branches sont nombreuses, plus le diamètre de l'hélice sera petit et le pas rapide; mais les hélices à branches nombreuses ne sont pas bien assorties aux grandes vitesses.

RECUL POSITIF ET NÉGATIF DE L'HÉLICE.

On se souvient qu'on entend par recul la différence entre l'espace parcouru réellement par l'hélice dans l'eau et ce que cet espace eût été, si cette même hélice s'était mue, sans que l'eau eût cédé à son impulsion. Une hélice de 10 pieds de pas (3^{m},05), tournant dans un écrou fixe, avancera de 10 pieds (3^{m},05) à chaque tour; mais cette même hélice, placée dans l'eau, n'avancera que de 9 pieds par révolution (2^{m},74), l'eau étant poussée en arrière de 1 pied (0^{m},305), parce que son inertie est moins forte que l'impulsion de la surface de l'hélice. Dans un pareil cas, on dit que le recul est de 1 pied sur 10, ou de 10 pour 100. Chaque sorte de propulseur a un pareil recul, car toute force, quelque petite qu'elle soit, surmonte l'inertie de l'eau jusqu'à un certain point; mais, en proportionnant l'appareil propulseur, de manière qu'il s'appuie

sur une grande surface, le mouvement rétrograde de l'eau sera diminué relativement à celui que fait le navire en allant de l'avant, ou, en d'autres termes, le recul sera réduit à peu de chose.

Un des phénomènes les plus remarquables de l'hélice est que, dans certaines circonstances, la quantité dont elle avance en apparence à travers l'eau est non-seulement égale, mais même plus grande que celle parcourue par le navire. Dans quelques-uns des premiers voyages de l'*Archimède*, lorsque le navire marchait sous l'impulsion réunie de la machine et des voiles, on observa que la longueur, dont il avait avancé dans l'eau, était plus grande que celle développée dans le même temps par l'hélice. Il en fut déduit que le navire dépassait l'hélice, quoiqu'il fût clair que ce ne pouvait être, puisque, pendant ce temps, la machine était abondamment pourvue de vapeur et avait la même pression. Cependant il est évident que la machine poussait *quelque chose*, et que son frottement et celui de l'hélice dans l'eau ne pouvaient employer toute cette puissance. Il y avait aussi la poussée habituelle sur l'arbre de l'hélice, de sorte que, bien que celle-ci se mût plus lentement que ne l'eût fait un loch Massey (*a patent log*) attaché à l'arrière, elle poussait cependant. Peu de temps après, le navire fut pourvu de différentes sortes d'hélices par M. Brunel, et il fut avéré qu'avec quelques-unes d'entre elles, le navire allait plus vite, sans l'aide des voiles, que si l'hélice avait tourné dans un écrou solide. Sur différents navires, la même action a été observée depuis; et, si le pas d'une hélice est beaucoup plus petit que son diamètre, il est très-probable que ce fait se présente. De prime abord ce phénomène parut si paradoxal, qu'on le déclara incroyable; mais maintenant on sait que c'est surtout une question des vitesses relatives de l'hélice, avec une colonne d'eau qui suit le navire et de cette colonne avec l'eau de la mer.

Lorsqu'un fort courant coule sous les arches d'un pont, on observe que l'eau tourne autour de l'extrémité de la pile située en aval; et si un copeau de bois est jeté à cet endroit, il n'est pas entraîné par le courant, mais reste en place, montrant que là où il est, l'eau n'a pas de mouvement. Maintenant, si nous supposons une hélice placée dans cette eau stationnaire, il est évident que tout mouvement de rotation imprimé à cette hélice occasionnera une poussée sur l'arbre : tandis que si elle était dans le courant, il faudrait, pour produire une poussée, qu'elle se mût plus vite que ce courant ne coule. Si nous supposons encore que la pile soit un navire, ce que nous avons dit ne sera pas

changé ; et il est facile de concevoir qne l'hélice, en tournant dans cette ean tranqnille, fera snrmonter le conrant par le navire, bien qu'elle se meuve avec une vitesse moindre que celle de ce conrant lui-même. Il est évident que l'hélice exercera une force de réaction sur cette ean tranquille, quelle que soit sa vitesse de rotation; mais pour qu'avec une vitesse moindre que le courant, elle ponsse assez fortement ponr snrmonter ce conrant, cela dépend des formes du navire et des dimensions de l'hélice. Si le pas est petit et que le nombre de révolntions répondant à un sillage donné, soit grand, l'eau anra une tendance à s'accumnler à l'arrière dn navire, à canse de son adhésion aux ailes, qui se meuvent rapidement, et par conséquent elle acqnerra une force centrifnge considérable. Lorsque cet effet a lieu, le navire est en partie ponssé en avant, par la pression hydrostatique occasionnée par l'élévation de l'ean à l'arrière, et cette pression aide l'impulsion de l'hélice. Si par une telle disposition, nn navire est amené à snrmonter un courant, il sera capable de se mouvoir en eau tranquille avec des circonstances semblables. Tous les navires entraînent avec eux un courant qui répond à l'eau tranqnille de la pile du pont; et si l'hélice agit dans ce conrant, son recul apparent sera positif ou négatif, suivant que le recul réel ou la vitesse du conrant l'emportera. Dans tous les cas, l'hélice a un recul relativement à l'eau dans laqnelle elle se meut; mais si cette eau a elle-même un monvement en avant, le résultat ne peut être semblable à celni dans de l'ean tranqnille, et il devient nécessaire de tenir compte de ce monvement en avant, anssi bien que de la marche du navire. Ainsi, supposant que le recul réel de l'hélice soit de trois milles par heure et qne le conrant qui suit le navire fasse trois milles, il n'y aura pas de recul apparent si la comparaison de la vitesse est faite avec l'eau libre qui entoure le bâtiment : on bien il se présentera nn *recul négatif*, comme on le dit, d'un mille par heure, si le courant qui suit le navire est de quatre milles à l'heure. Toute incertitnde cesse donc, si nons considérons que le navire est snivi par nn courant dont la vitesse pent être plus grande on plus petite que celle exprimée par le recul de l'hélice. Ce courant est limité à l'ean la plns rapprochée du navire ; de sorte qu'nn loch, soit de l'espèce ordinaire, soit dans le genre de celui de Massey, ne marquerait pas la vitesse réelle, s'il était placé trop près de l'arrière. Mais si on le mettait là où l'hélice tonrne, il montrerait la vitesse avec laquelle le navire dépasse le courant, et le recul réel serait ainsi déterminé. Je pense que dans tous les navires à hélice, le recul est plns grand

qu'on ne le compte généralement, parce que tous ont un courant qui les suit et dans lequel l'hélice se meut; et comme dans quelques cas, ce courant fait disparaître tout à fait le recul apparent, je pense qu'il le réduit toujours à une quantité moindre que le recul réel, et c'est ce dernier qu'il nous importe de déterminer. Le courant qui suit le navire ne présente aucun avantage aux navires à hélice, car pour produire ce mouvement de l'eau, il faut dépenser un grand surcroît de force; et avec les hélices proportionnées de manière à occasionner un recul négatif, on a obtenu un plus mauvais résultat qu'avec celles ayant un recul apparent de 10 à 12 pour 100.

ACTION CENTRIFUGE DE L'HÉLICE.

La forme ordinaire de l'hélice, avec des ailes placées à angle droit de l'axe, occasionne une perte de force par la vitesse centrifuge imprimée à l'eau, même dans les cas les plus avantageux : et lorsque le navire est arrêté par des vents contraires ou par d'autres obstacles, une grande partie de la force mécanique est ainsi gaspillée inutilement. Avec de telles hélices l'eau n'est, dans aucun cas, projetée en arrière sous la forme d'un cylindre; mais elle prend celle d'un tronc de cône avec sa petite base vers l'hélice, et cela se présente même lorsqu'il y a peu de recul. Cependant si la marche trouve une résistance, l'hélice avance moins dans l'eau, ses ailes agissent comme celles d'un ventilateur centrifuge, et probablement son centre devient un espace dans lequel il n'y a pas d'eau. Il résulte de cette action que l'hélice se meut presque avec la même vitesse, que s'il n'y avait pas d'obstacle à la marche, et même qu'il n'y a pas plus de poussée sur l'arbre; une très-grande partie de la force étant ainsi perdue par le recul. Ces défauts sont plus sensibles dans les navires à petit tirant d'eau et avec des hélices d'un petit diamètre et lorsque le navire est encore immobile et que l'hélice est en partie au-dessus de l'eau, elle se trouve couverte, dès qu'elle tourne, par le volume d'eau entraînée par la force centrifuge. On remarque aussi qu'à bord des navires petits et plats, la machine, si elle est lancée à toute volée au moment du départ, s'emporte aussitôt, si on peut s'exprimer ainsi, et projette une cascade d'eau de l'arrière, au lieu d'imiter les roues à aubes et de se mouvoir d'abord lentement, jusqu'à ce que l'inertie du bâtiment soit surmontée. Si un tel résultat ne se présentait qu'au moment de la mise en marche, il serait de peu d'importance; mais il a lieu plus ou

moins, lorsque le navire éprouve un vent contraire, et cette particularité de l'hélice la rend moins convenable que la roue à aubes, pour lutter contre le vent. Ce défaut serait corrigé dans de certaines limites en courbant les ailes vers l'arrière, de la manière proposée par le comte de Dundonald et par Hodgson, dont les projets ont été exposés. Mais cela ne le corrigerait pas entièrement, et le meilleur remède paraît être de plonger plus profondément l'hélice, car je crois qu'aucun navire ne l'a suffisamment enfoncée; il en résulte que l'eau est projetée en arrière et par côté plus vite que ses particules ne peuvent descendre par l'action de la pesanteur, pour remplir le vide produit. Le diamètre effectif ou utile de l'hélice est par conséquent beaucoup diminué, et une perte notable de force en résulte nécessairement. Il est clair que la rapidité avec laquelle l'eau se précipite dans l'espace vide, formé par la répulsion et par l'action centrifuge de l'hélice, dépend de la hauteur de la colonne au-dessus de cet espace, ou en d'autres mots du degré d'immersion; ct par conséquent pour empêcher cet effet à l'arrière du navire, l'hélice doit être enfoncée dans l'eau aussi profondément que possible. Une hélice placée bas vaut mieux que celle d'un grand diamètre, en ce qu'elle présente moins de surface au frottement et empêche également un trop grand recul.

On voit par ce qui précède que l'action centrifuge de l'hélice produit deux inconvénients : le premier est d'occasionner une dispersion de l'eau dans la direction du rayon, d'où il résulte que la pnissance est gaspillée sans aucune compensation, et le second de réduire tellement le diamètre effectif, que la réaction nécessaire n'est obtenue qu'en tournant l'hélice avec une vitesse beaucoup plus grande, relativement à celle du navire. Une augmentation nuisible de recul est ainsi produite, et la grande vitesse du propulseur augmente son action centrifuge et ajoute à la perte éprouvée par cette cause. Dans de telles conditions je pense que la partie réellement agissante du disque de l'hélice est réduite à une sorte de demi-lune occupant la partie inférieure de ce disque. C'est là que la pression hydrostatique fait entrer l'eau dans le cercle décrit par les ailes; mais dans les autres parties, l'eau est chassée en dehors au lieu de l'être de l'arrière, comme cela devrait être. Pour tirer parti de cette puissance mal employée, on a proposé d'entourer l'hélice d'une sorte d'épaulement, qui recevrait l'impulsion de l'eau en mouvement à la manière des turbines, et la force ainsi recouvrée serait utilisée en aidant à la rotation. Mais un tel appareil serait trop compliqué et occasionnerait

trop de frottement pour être utile en pratique. On a aussi eu l'idée de renfermer l'hélice dans un tube; mais dans cette condition elle a donné des résultats moins favorables que celle en eau libre. Dans celle d'Ericsson un anneau entoure les ailes et s'oppose jusqu'à un certain point à la dispersion de l'eau suivant le rayon. Toutefois il n'empêche pas entièrement le mal, et son efficacité serait plus grande si, au lieu de les entourer, cet anneau était placé un peu à l'arrière des ailes, de manière à s'opposer à l'espèce de dispersion occasionnée dans cette direction par la combinaison du recul et de l'action centrifuge. Dans les hélices ordinaires on obtiendrait probablement de bons résultats en courbant les ailes par côté jusqu'à une certaine limite, de manière que l'eau repoussée vers le dehors frappât sur la courbe et aidât à la révolution. Mais de tous les moyens, le meilleur est de plonger profondément l'hélice; car alors l'action centrifuge et la difficulté de l'eau à pénétrer dans le centre de l'hélice sont également corrigées. Plus l'hélice est basse, plus on donne de hauteur à la colonne que l'action centrifuge doit vaincre, et plus on empêche la dispersion de l'eau. En même temps la pression hydrostatique d'une haute colonne pousse l'eau à entrer instantanément dans la partie vide produite au centre par l'action de l'hélice, ou du moins elle empêche ce vide de se former; de sorte que les ailes agissent toujours sur de l'eau aussi dense que celle des autres parties de la mer.

Un navire dont l'hélice est enfoncée dans l'eau, est capable de lutter contre un vent contraire, aussi bien qu'un navire à roues, parce que la vitesse de sa machine sera dans tous les cas proportionnelle à celle du navire et le recul sera presque le même, si les vents sont favorables ou contraires. Sans doute avec une hélice plongée bas, il y aura un peu d'action centrifuge causée par l'impulsion des ailes et aussi par le frottement qui y fait adhérer un peu d'eau, qui acquiert un mouvement centrifuge; mais lorsque le recul est rendu uniforme par l'emploi d'une hélice plongée bas, toute l'action centrifuge qui reste peut être, en grande partie, empêchée en donnant une forme convenable à l'hélice elle-même. Avec une quantité égale de recul il y aura aussi un mouvement centrifuge uniforme : et ce dernier peut être balancé par une quantité de mouvement centripète qui vaille au juste le premier. On obtiendrait cela en courbant légèrement en arrière les ailes, de manière que leur centre soit un peu en avant de leur extrémité. Une telle hélice donnerait aux particules d'eau une impulsion, qui les ferait converger

en un point, si aucune force contraire ne l'empêchait; mais comme elles reçoivent en même temps une force centrifuge, elles suivront une route intermédiaire entre la convergente et la divergente, ou, en d'autres mots, elles seront projetées en arrière en une colonne cylindrique du même diamètre que l'hélice elle-même.

CHAPITRE IV.

EFFETS COMPARATIFS DE L'HÉLICE ET DE L'AUBE EMPLOYÉES COMME PROPULSEURS.

L'efficacité comparative de l'hélice et de l'aube, employées comme propulseurs, ne saurait être connue qu'en mesurant la vitesse donnée par chacun de ces moyens à un navire d'une forme déterminée, et en employant la même puissance Dès le principe on a cherché à établir des comparaisons approximatives en essayant l'*Archimède* avec des navires à roues de même dimension et à peu près de même force. Mais des expériences plus concluantes ont été faites ensuite sur les navires semblables *l'Alecto* et *le Rattler* et sur *le Basilisk* et *le Niger*. *L'Alecto* et *le Basilisk* étaient à roues et *le Rattler* ainsi que *le Niger* étaient mus par l'hélice. Ils furent construits dans le but spécial d'éclaircir cette question, et les résultats qu'ils ont présentés sont le meilleur guide que nous ayons jusqu'à présent sur ce sujet.

ARCHIMÈDE ET WIDGEON.

En 1840, différentes expériences furent faites pour déterminer la vitesse comparative de *l'Archimède* et des paquebots *l'Ariel*, *Swallow* et *Widgeon*, faisant le service entre Douvres et Calais. Les principales dimensions de ces bâtiments étaient :

	LONGUEUR.	LARGEUR.	TONNAGE.	PUISSANCE.	SURFACE de la maîtresse-section.	VITESSE en *statute miles*.	VITESSE en milles marins.
	m		tonneaux	chevaux	mèt. carr.		
Ariel	32,94	5,26	154	60	8,824	10,4	9',03
Swallow	32,78	4,47	135	70	7,802	10,4	9',03
Beaver	31,46	4,88	130	62	7,802	11,2	9',80
Widgeon	32,94	5,44	164	90	8,824	10,3	9',00
Archimèdes	32,33	6,57	240	80	13,289		

Il y a 69,12 *statute miles* dans un degré, il équivaut à 0,868 d'un mille marin.

Le premier essai fut fait entre *l'Archimède* et *l'Ariel*, tous deux se servant en même temps de la voile et de la vapeur. *L'Archimède* battit *l'Ariel* de 6 minutes entre Douvres et Calais, et en revenant de la mêmo manière, *l'Archimède* gagna de 5'. La vitesse obtenue fut 9 $\frac{3}{4}$ nœuds. L'essai suivant fut avec *le Beaver* entre Douvres et Ostende; en allant, la vitesse fut de 9,5 nœuds, et en revenant 9,25 nœuds. En allant, *l'Archimède* battit *le Beaver* de 4', et en revenant ce dernier gagna 9'. Le navire essayé ensuite contre *l'Archimède* fut *le Swallow*, et sans aucune voile la vitesse de *l'Archimède* fut trouvée un peu plus grande que la sienne. Plus tard, sur une distance de 19 milles avec un petit vent de l'arrière, mais pas de voiles établies, *le Widgeon* battit *l'Archimède* de 6', la vitesse de ce dernier étant 8,5 nœuds. En retournant contre une légère brise debout, *le Widgeon* gagna encore *l'Archimède* de 10' minutes, la vitesse de ce dernier étant de 7,5 à 8 nœuds. Dans un essai suivant avec presque calme et belle mer, *le Widgeon* battit *l'Archimède* de 3 $\frac{1}{2}$ minutes sur 19 milles. Une autre fois, avec une brise fraîche et les deux navires faisant de la voile, *l'Archimède* gagna *le Widgeon* de 9 minutes sur 19 milles. Pendant une de ces expériences, *l'Archimède* parcourut la distance de Douvres à Calais en 1 h. 53' $\frac{1}{2}$, et ce trajet fut le plus prompt de cette époque. En résumé, ces essais montrèrent qu'avec vent debout ou calme, le navire à roues avait un avantage; mais qu'avec le vent du travers ou dans d'autres directions, qui permettent l'usage des voiles, l'hélice donnait de meilleurs résultats. Le navire à hélice déployait plus de voiles; mais aussi il avait la maîtresse-section la plus forte et la plus petite puissance relative.

RATTLER ET ALECTO.

Les expériences de ces deux navires donnent des résultats beaucoup plus précis que les précédentes. Les bâtimenta se ressemblaient davantage, et la force développée par les deux machines était constatée par l'indicateur : la poussée de l'arbre de l'hélice était mesurée par un dynamomètre, instrument composé d'une suite de leviers, comme les bascules à peser les voitures, où un petit poids en fait évaluer un très-grand. Les dimensions principales des deux navires sont données dans le tableau suivant :

	LONGUEUR.	LARGEUR.	TONNAGE.	PUISSANCE.	SURFACE de la maîtresse-section au tirant d'eau de 11 feet 5 ½ inch ou 3 m. 69.
	mètres	mètres	tonneaux	chevaux	mètres carrés
Rattler....................	53,83	9,963	904	200	26,17
Alecto....................		9,963	812	200	26,17

La senle différence dans les formes consistait en ce que *le Rattler* avait été allongé d'environ 4^m,57 par l'arrière, ponr faciliter l'introduction de l'hélice. Son tirant d'eau, an moment des expériences, était de 3^m,58 devant, et derrière 3^m,94 donnant pour tirant d'eau moyen 3^m,76. Celui de *l'Alecto* était en même temps 3^m,66 et 3^m,84, le tirant d'eau moyen étant 3^m,75.

1re Expérience. Cette expérience fut faite avec la vapeur seule. Le temps était calme, la mer tranquille. A 5^h 54′ du matin, les deux navires quittèrent Nore à 2^h 30′ ½, *le Rattler* stoppa sur la rade de Yarmouth, et 20′ ¼ après *l'Alecto* arriva. La vitesse moyenne du premier était 9′,2 nœuds, et celle de *l'Alecto* 8,8. Le recul de l'hélice était 10 $\frac{8}{0}$: la puissance réelle, d'après l'indicateur, était de 334,6 chevaux pour *le Rattler*, 281,2 ponr *l'Alecto* : *le Rattler* développait 53,6 chevaux do plus. La poussée de l'arbre de l'hélice était de 3955 kilogrammes. La puissance en chevaux de l'arbre, obtenue en multipliant sa poussée en kilogrammes par l'espace parcouru par le navire en mètres par seconde et divisée par 75, était de 247,8 chevaux. Cela donne, pour le rapport de la force développée de l'arbre à celle de la machine, 1 à 1,3.

2e Expérience. Cet essai fut exécuté avec l'action simultanée des voiles et de la vapeur, par une brise modérée de l'arrière et une belle mer. A midi 32′, les deux navires partirent de la rade de Yarmouth, gouvernant au nord; à 6^h 21′ du soir, *le Rattler* stoppa, fit le tour, et à 6^h 34′ *l'Alecto* le rejoignit. La distance parcourue était 34 milles, et le temps gagné par *le Rattler* 13′ ½. Sa vitesse moyenne était 11,9 et celle de *l'Alecto* 11,2 nœuds.

3e Expérience. Cette expérience fut faite avec la vapeur seule, contre une forte brise debont et grosse mer. A 9^h 22′, les deux navires étaicnt par le travers gouvernant an nord à toute vapeur. A 10^h, la pression dn *Rattler* ayant baissé par accident, *l'Alecto*, qui était de l'arrière, arriva par le travers; à 10^h 44′, il se trouvait à environ un mille en arrière. La route fut alors changée de manière à prendre le vent et la mer par le bossoir de

babord; à 5h 17', *le Rattler* stoppa et mouilla, et à 5h 56' l'autre en fit autant. La distance parcourue était 60 milles et le temps gagné par le *Rattler* 39 minutes. Sa vitesse moyenne était de 7',5 et celle de *l'Alecto* 7',0. Toutefois la vitesse changea beaucoup pendant le parcours; au commencement, lorsque le vent était debout et soufflait grand frais, la vitesse du *Rattler* était de 5',5, tandis que lorsque le temps devint modéré elle était de 8',8. Au commencement, la puissance réelle du *Rattler* était 364 chevaux et celle de *l'Alecto* 250, le premier développant 114 chevaux de plus. Le recul moyen de l'hélice pendant ce temps était de 42,2 pour 100. La poussée variait considérablement à cause du tangage; le minimum était 2311k,8, le maximum 5778k, et la moyenne 4313k,29. La puissance de l'arbre avec 5',5 de vitesse était 160,2 chevaux, et son rapport à celle de la machine 1 à 2,2. Lorsque la vitesse s'éleva à 8,8, les différentes fonctions étaient comme suit : Puissance réelle, 388 chevaux; la poussée minimum 1866k,3, la poussée maximum 5333k,8, et la moyenne 4202k,3. La puissance de l'arbre 249 chevaux; rapport de l'arbre à la machine, 1 à 1,5; recul moyen, 19,1 pour 100.

Pour faire suite à l'essai précédent, les deux navires firent un court trajet avec la vapeur seule, sans voiles et les mâts calés : cependant, le vent était tombé et la mer était devenue belle. La vitesse du *Rattler* était 10', le recul de l'hélice 11,2 pour 100; la puissance réelle 368,8 chevaux et celle de *l'Alecto* 291,7 chevaux. La poussée de l'hélice était égale à 4276k,75. La puissance de l'arhre était 290,2 et son rapport à celle de la machine 1 à 1,2. Le résultat de cet essai est remarquable, en ce que la force développée par l'arbre est presque égale à celle de la machine. Plus ces deux puissances se rapprochent, plus l'action de l'hélice est bonne.

4e Expérience. Cette expérience a été faite avec les voiles seules et vent arrière; *l'Alecto* avait démonté ses aubes, et *le Rattler* avait placé son hélice verticalement et dans la ligne des étambots. A 4h 42 les navires étaient par le travers sous toutes voiles et les bonnettes; à 6h 30' *l'Alecto* étant à 2288 mètres de l'arrière, *le Rattler* diminua de toile, et l'essai fut terminé. La vitesse du *Rattler* fut de 5' à 6',5 : la brise fut modérée et la mer belle. A un certain moment de l'expérience on trouva que l'hélice était devenue horizontale, on la remit verticale; mais la différence de marche obtenue ne fut pas sensible.

5e Expérience. Cet essai fut fait à la voile et au plus près; à 9h 30', les

deux navires partirent tribord amures sous toutes voiles: la vitesse était d'environ 3',2. A midi, le vent ayant refusé, les deux navires virèrent à $2^h \frac{1}{4}$, *le Rattler* passa au vent de *l'Alecto*, et cet essai de 5^h fnt terminé avec un peu d'avantage pour son compte. Le vent était modéré ct la mer unie.

6e Expérience. Cette expérience fut faite avec les voiles senles et le vent du travers : la vitesse moyenne du *Rattler* fut 8',0, et dans 4^h d'expérience il gagna 38 minutes à *l'Alecto*.

7e Expérience. *Le Rattler* avec la vapeur seule fut mis à remorquer *l'Alecto*, dont les palettes étaient démontées; la mer était parfaitement unie et il n'y avait pas de vent. La vitesse imprimée à *l'Alecto*, mesurée par le *patent log*, était d'environ 7',0 nœuds: la puissance réelle développée par *le Rattler* était de 351,6 chevaux; la poussée moyenne de l'arbre était de 4659^k; la puissance de l'arbre, 222,6 chevaux, et son rapport à celle de la machine, 1 à 1,5; le recul de l'hélice, 33,6 pour 100.

8e Expérience. *L'Alecto* avec sa vapeur seule fut mis à remorquer *le Rattler*, dont l'hélice avait été mise verticale dans le plan des étambots. La vitesse imprimée au *Rattler* fut d'un pen moins de 6', par le *patent log*. Ainsi, en remorquant, *le Rattler* avait un avantage d'un nœud, mais ses machines développaient beaucoup plus de force que celles de *l'Alecto*, et, par conséquent, il dépensait beaucoup plus de charbon.

9e Expérience. Les deux navires furent amarrés par l'arrière l'un à l'autre, et les deux machines furent mises en mouvement. Comme quelques personnes supposaient que la machine qui partait la première conservait ensuite de l'avantage, il fut permis à *l'Alecto* de mettre en marche la première et de remorquer *le Rattler* par l'arrière jusqu'à ce que la vitesse fut de 2'; alors celui-ci mit en marche, et cinq minutes après, il arrêta son mouvement en arrière, s'avança graduellement et remorqua *l'Alecto* contre toute la force de sa machine, avec une vitesse de 2',8 par heure.

La puissance développée par *le Rattler* dans ces expériences était 299,8, et celle de *l'Alecto* 140,7 chevaux, c'est-à-dire moins de la moitié de la précédente; la poussée moyenne était égale à 4765,9; la force de l'arbre était 90, 41 chevaux; le rapport à celle de la machine, 1 à 3,3, et le recul, 66 pour 100.

Ces expériences de remorquage montrent, d'une manière concluante, un des principaux défauts de l'hélice, c'est sa tendance à conserver une vitesse uniforme avec des résistances très-différentes; et, comme

le navire ne marche pas avec la même vitesse, quand l'obstacle qui lui est opposé est augmenté, il y a beaucoup de recul, puisque alors le propulsenr conserve à peu près la même vitesse, et, de la sorte, la force et le charbon sont inutilement consommés. Le nombre des coups de piston donnés par les maehines dans ees divers essais était pour le 1er, 23 $\frac{3}{4}$ pour *le Rattler*, 19 $\frac{3}{4}$ pour *l'Alecto*; pour le 3e, *Rattler*, 22 $\frac{1}{2}$; *Alecto*, 18; ponr le 7e, *Rattler*, 24 $\frac{1}{2}$, et pour le 9e, *Rattler*, 19; *Alecto*, 8 $\frac{3}{4}$. Un surcroît de résistance capable de réduire les machines de *l'Alecto* de 19 $\frac{3}{4}$ coups de piston à 8 $\frac{3}{4}$, ou de plus de la moitié, ne diminue la vitesse de celles du *Rattler* que de 23 $\frac{3}{4}$ à 19, ou pas plus d'un quart. Ainsi, lorsque avec l'hélice le navire éprouve une résistanee quelconque, la perte par le recul est beauconp plus grande qu'avee les roues, et, dans cette expérience particulière, l'hélice perd plus de force par le recul que la roue n'en emploie en tout; car si, de la puissance réelle par l'indicateur, 299,8 chevaux, nous retranchons la puissance de l'arbre, 90,41, nous avons 209,39 chevaux pour la puissauce consommée par le recul seul et le frottement à bord du *Rattler*, tandis que la force totale développée par *l'Alecto* n'est que de 140,7 chevanx.

Après avoir terminé les expériences sur le remorquage, on en fit deux autres pour connaître la marche du *Rattler* avec une puissanee moindre. Le temps était calme, la mer belle, et la vitesse obteuue avee le plns grand degré de détente était 8 nœnds; le nombre de révolutions des machines était 21, et la force exercée par la machine n'était plus que 204,7 chevaux; la poussée sur l'hélice 2816^{k},6; la puissance de l'arbre était 152,6 chevaux, et son rapport à celle de la machine 1 à 1,3; le recul était 12,2 pour 100.

La vapeur fut ensuite arrêtée par le registre jusqu'à ne plus filer que 6 nœuds; le nombre de coups de piston vint à 17, la puissanee réelle 126,7, la poussée de l'arbre 2177^{k}, la puissance de l'arbre 88,4 chevaux, et son rapport à celle de la machine 1 à 1,4; le recul 18,7 pour 100. Ces résultats présentent une anomalie en ee qu'ils montrent que le reeul n'est pas diminué, ni la proportion de la puissanee de l'arbre à celle de la machine augmentée, en diminuant la force de la machine relativement au diamètre de l'hélice.

10e Expérience. Cet essai fut effectué avee la vapeur seule et le vent de quatre quarts par le bossoir de babord : la distanee franchie était 72 milles. Le temps oecupé à la parcourir fut de 4^{h} 31' $\frac{1}{2}$ pour *le Rattler*, et de 5^{h} 22 $\frac{1}{4}$ pour *l'Alecto*. La vitesse moyenne du *Rattler* 9',07, et celle de

l'Alecto 8,19 nœuds. Le nombre de coups de piston du *Rattler* 24 ½, et de *l'Alecto* 18; la puissance réelle du *Rattler* 324 chevaux, et celle de *l'Alecto* 245,8; la poussée de l'hélice égale à 3569k,6; sa puissance 219,2 chevaux, sa proportion à celle de la machine 1 à 1,4, et le recul 11,1 pour 100.

11e Expérience. Cette expérience a duré sept heures, et a été faite contre un fort vent debout et une grosse mer. La vitesse du *Rattler*, par le *patent log*, était de 4,2, et à la fin de l'expérience, *l'Alecto* eut un avantage d'environ ½ mille. La puissance ne put être déterminée à cause d'un accident survenu à l'indicateur du *Rattler*. Il est toutefois certain qu'elle a été très-considérable, et que la perte par le recul a été très-grande; car, bien que la vitesse du navire fût réduite à 4 nœuds, le nombre de coups de piston était de 22, tandis qu'à bord de *l'Alecto* il n'était que de 12. Pendant une grande partie de l'essai, *le Rattler* manqua de vapeur, parce qu'il fallut fermer les ouvertures de la chambre de la machine pour la préserver de la mer, et, de la sorte, le tirage des fourneaux était très-diminué. *L'Alecto*, bien que dans les mêmes circonstances, montrait beaucoup de vapeur, sortant par son tuyau. Ce résultat fournit une nouvelle preuve de la grande perte de vapeur des navires à hélice avec vent debout; car *l'Alecto* aurait manqué aussi de vapeur, si les deux machines avaient marché avec la même vitesse. La poussée minimum du *Rattler* sur l'hélice, quand le navire tanguait, était de 2400k, et le maximum, 5241k; la poussée moyenne, 4425k; la puissance moyenne de l'arbre était 125,9, et le recul de l'hélice, 56 pour 100.

12e Expérience. Cet essai fut fait avec la vapeur seule, au retour des navires de Yarmouth à Woolwich; mais, à cause d'une avarie survenue à la chaudière de *l'Alecto* et des interruptions occasionnées par des navires entrant dans la Tamise, on ne peut établir le résultat d'une manière précise. Toutefois l'avantage fut au *Rattler* : avec une forte brise du bossoir de babord, et aidé par le flot, il passa le mille mesuré à raison de 11,88 nœuds à l'heure.

Dans toutes ces expériences on remarque que *le Rattler* développait beaucoup plus de force que *l'Alecto*, et la différence devenait plus grande quand ils étaient employés à remorquer, ou lorsqu'ils luttaient contre des vents contraires. Avec la vapeur seule et sans vent, ou avec les deux modes réunis (voile et vapeur), les deux propulseurs semblent aussi efficaces pour la même dépense de force; mais, dans le cas des remorques ou des vents debout, ces expériences montrent que les aubes utilisent

beaucoup mieux la force développée. Cependant il y a deux objets importants non décidés par ces expériences : le premier est la bonté relative de la roue et de l'hélice avec des immersions profondes, légères et moyennes, et le second est l'efficacité comparative d'une hélice donnée sur un même navire, quand cette hélice est plongée à différentes profondeurs. La première de ces questions a été déterminée d'une manière favorable par les expériences du *Niger* et du *Basilisk;* mais je ne connais aucun essai exécuté pour déterminer de combien une hélice profonde vaut mieux qu'une peu plongée, quoique ce soit une des plus importantes questions du sujet.

NIGER ET BASILISK.

Le Niger est un navire à hélice de 1089 tonneaux : la longueur entre perpendiculaires est de $59^m,17$, sa largeur $10^m,57$, son tirant d'eau moyen $4^m,73$, la surface de son maître-couple $39^{mc},58$, le diamètre de l'hélice $3^m,812$, le pas $5^m,288$, la longueur $0^m,762$, la puissance nominale est de 400 chevaux.

Le Basilisk est un navire à roues, construit sur les mêmes lignes que *le Niger*, ayant la même force nominale, mais environ $1^m,393$ de moins de la section du maître-couple immergé qu'à bord du *Niger.* Le diamètre des roues à aubes du *Basilisk* est $6^m,735$, la longueur des aubes $2^m,897$, leur largeur $0^m,665$, et l'immersion de la roue est $1^m,423$, quand le navire tire $4^m,727$. Pendant les essais du *Niger*, les aubes ont été rentrées jusqu'à ce que le diamètre effectif de la roue fût réduit à $6^m,405$.

Ces deux navires ont fait de nombreuses expériences, en 1849, pour déterminer les qualités relatives de l'hélice et de la roue à aubes employées comme propulseurs. La puissance exercée par ces machines a été soigneusement déterminée par l'indicateur, comme dans les expériences de *l'Alecto* et du *Rattler*. L'avantage d'un navire sur l'autre était mesuré par des angles, et les résultats comparés et admis par les deux commandants, avant de terminer chaque série d'expériences. On essaya de trois manières : la première avec la vapeur seule, la seconde avec la voile et la vapeur, et la troisième avec la voile seule. Chacune fut divisée en trois classes secondaires : la première avec une profonde immersion, la deuxième avec un tirant d'eau moyen, et la troisième étant très-lége. Les résultats les plus importants remis à l'amirauté sont montrés dans le tableau suivant :

RÉSUMÉ DES RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES EXÉCUTÉES PAR LES NAVIRES DE S. M. B. *NIGER* ET *BASILISK*, DE MAI A AOUT 1849, POUR DÉTERMINER LES QUALITÉS PROPULSIVES DE L'HÉLICE ET DE LA ROUE A AUBES.

NATURE ET CIRCONSTANCES DES ESSAIS.					ORDRE DES ESSAIS.	DATE des ESSAIS.	DURÉE DES ESSAIS.	SUPÉRIORITÉ DE MARCHE — MONTRÉE PENDANT L'ESSAI — en faveur de	en nœuds.	pour 100.	DÉTERMINÉE EN RAPPORT DE LA PUISSANCE EMPLOYÉE — en faveur de	en nœuds.	pour 100.
							heures						
1res SÉRIES. — AVEC LA VAPEUR SEULE.	IMMERSION PROFONDE.	Toute volée.	Belle mer.	A la plus grande vitesse	1	31 mai.	8	*Basilisk*	0,168	1,8	*Niger*	0,45	0,5
		»	»	Le plus rapide gagnant le plus lent	2	1er juin.	6	Egalité	0,3	»	Egalité	»	»
		»	»	Plus grande vitesse	7	10 juin.	8	*Niger*	0,182	1,8	*Niger*	0,278	6,1
		»	»	Plus grande vitesse de convoi	14	22 juin.	6	*Basilisk*	0,16	1,0	*Niger*	0,018	0,2
		»	»	En se rendant à Plymouth	17	24-25 juin.	61	*Basilisk*	1,2	12,4	*Niger*	0,2	0,2
		»	»	Se remorquant alternativement pendant une heure	6	9 juin.	6	*Basilisk*	2,88	33,0	*Basilisk*	2,256	0,29
		»	»	Se remorquant arrière contre arrière	10	20 juin.	1	Pas déterminé.			»	»	»
		»	»	Se remorquant arrière contre arrière, répété	11	20 juin.	1	*Niger*	1,466	»	»	»	»
		»	»	Se remorquant alternativement, répété	12	20 juin.	6	*Basilisk*	0,37	6,1	*Basilisk*	0,44	7,1
		Moitié des fourneaux.	»	Plus grande vitesse	3	2 juin.	8	*Basilisk*	1,368	20,7	*Niger*	0,098	1,6
		»	»	Le plus rapide gagnant le plus lent	4	6 juin.	8	Egalité	»	»	*Basilisk*	0,041	0,6
	IMMERSION MOYENNE.	Toute volée.	»	La vitesse déterminée au mille mesuré dans Stokes bay.		15 mai.		*Basilisk*	0,323	3,	»	»	»
		»	»	Plus grande vitesse	18	9 juillet.	8	*Basilisk*	0,318	3,4	*Basilisk*	0,192	2,1
		»	»	Le plus rapide gagnant le plus lent	19	9 juillet.	6	Egalité	»	»	*Basilisk*	0,255	2,7
		»	»	Plus grande vitesse	31	1er août.	3	*Basilisk*	0,284	6,3	*Basilisk*	0,039	1,4
		»	»	Le plus rapide gagnant le plus lent	32	1er août.	6	Egalité	»	»	*Niger*	0,05	0,5
		Vitesse réduite.	»	Vitesse égale	33	2 août.	3	Egalité	»	»	*Basilisk*	0,356	4,6
	LES NAVIRES LÉGERS.	Toute volée.	»	Plus grande vitesse (les navires très-légers)	24	22 juillet.	6	*Basilisk*	0,650	7,5	*Basilisk*	0,412	4,7
		»	»	Le plus rapide gagnant le plus lent	25	22 juillet.	8	Egalité	»	»	*Basilisk*	0,095	1,5
		Moitié des foyers.	»	Plus grande vitesse	26	23 juillet.	8	*Basilisk*	1,774	20,2	*Basilisk*	0,082	4,0
		»	»	Le plus rapide gagnant le plus lent	27	23 juillet.	8	Egalité	»	»	*Basilisk*	0,81	8,8
		Puissance réduite.	»	Se rendant avec la même vitesse à Plymouth	30	26 juillet.	5	Egalité	»	»	*Basilisk*	0,18	2,8
2mes SÉRIES. — VOILES ET VAPEUR.	PROFONDE IMMERSION.	Toute volée.	»	Plus grande vitesse sous les voiles latines	8	18 juin.	6	Non déterminé.					
		»	»	Id. toutes voiles du plus près	9	19 juin.	6	*Niger* gagne au vent, par heure.				0,437	
	IMMERSION MOYENNE.	»	»	Id. toutes voiles, vent du travers	20	10 juillet.	6	*Basilisk* gagne de l'avant, par h.				0,300	3,1
		»	»	Id. toutes voiles, vent sur l'arrière du travers	21	10 juillet.	6	*Basilisk* gagne de l'avant, par h.				0,52	5,2
3mes SÉRIES. — AVEC LES VOILES SEULES.	PROFONDE IMMERSION.	»	»	Toutes voiles du plus près	8	7 juin.	6	*Niger* gagne au vent, par heure.				0,937	
		»	»	Toutes voiles, largue	15	23 juin.	3	*Niger* gagne de l'avant, par h.				1,42	
	IMMERSION MOYENNE.	»	»	Toutes voiles, grand largue	16	23 juin.	3	*Niger* gagne de l'avant, par h.				0,501	
		»	»	Toutes voiles du plus près	22	11 juillet.	0,25	*Niger* gagne au vent, par heure.				0,567	
		»	»	Toutes voiles du plus près	23	12 juillet.	6	*Niger* gagne au vent, par heure.				0,646	
	LES NAVIRES LÉGERS.	»	»	Toutes voiles du plus près	28	21 juillet.	6	*Niger* gagne au vent, par heure				0,74	
		»	»	Toutes voiles, largue	29	25 juillet.	3	*Niger* gagne de l'avant.				1,218	

L'examen de cette table conduit aux conclusions suivantes : Quand les navires ont été essayés avec la vapeur seule, avec une profonde immersion et leur plus grande vitesse, comme dans les essais nos 1, 7, 14 et 17, *le Basilisk* avait dans tous les cas, sauf un seul, un avantage de vitesse de 1,6 à 12,4 pour 100; mais en même temps il développait la plus grande puissance, et si la vitesse était réduite à ce qu'elle eût été avec la même quantité de force à bord des deux navires, on trouverait que *le Niger* aurait un avantage de 5 à 3,1 pour 100 de la vitesse totale. Quand les navires, toujours sous vapeur seule, furent essayés avec une immersion moyenne et à leur plus grande vitesse, comme dans les essais nos 18 et 31, *le Basilisk* eut un avantage en vitesse de 3,3 à 3,4 pour 100. Mais pendant ce temps il développait plus de force que l'autre, et si la vitesse se fût réduite à ce qu'elle eût été s'il n'avait produit que la même force, il aurait encore un avantage de 1,4 à 2,1 pour 100 sur *le Niger*. Quand les navires, avec la vapeur seule, furent essayés avec peu d'immersion et à leur plus grande vitesse, comme dans l'essai n° 24, *le Basilisk* avait un avantage de vitesse de 0,659 nœuds par heure, ou 7,5 pour 100, mais en même temps il faisait plus de force que *le Niger*, et si sa vitesse avait été réduite à celle qui eût répondu à la même puissance développée dans les deux navires, *le Basilisk* aurait conservé encore un avantage de 4,7 pour 100 de la vitesse totale. Il paraît, d'après cela, que sur des navires semblables, employant la même quantité de force et marchant à toute vitesse, l'hélice est le propulseur le plus avantageux, dans le cas d'une profonde immersion, et les aubes, dans ceux d'une immersion moyenne et d'un faible tirant d'eau. La marche absolue n'a pas été portée sur la table, mais la vitesse de chaque navire confirmée sur le mille mesuré était d'environ 10 nœuds à l'heure, et la vitesse moyenne du *Niger*, pendant les sept essais à grande vitesse, était 8,475 nœuds. La quantité moyenne dont l'hélice du *Niger* avançait dans l'eau, pendant ces sept essais, était de 11,205 nœuds, de sorte que le recul moyen de l'hélice était de 2,73 nœuds par heure, ou d'un peu plus de 24 pour 100.

On verra plus loin, en se rapportant à la table, que lorsque les deux navires furent amarrés l'un à l'autre par l'arrière, et que les machines furent mises en action, *le Niger* remorqua *le Basilisk* par l'arrière contre toute la force de ses machines avec une vitesse de 1,466 nœuds par heure. Mais, pendant ce temps, la vitesse des machines du *Basilisk* était réduite de 134 pour 100, et leur puissance de 103, et l'hélice exerçait

188 chevaux de force de plus. Dans un autre essai où *le Niger* traîna *le Basilisk* avec 1,1 mille par heure, ses machines faisaient une force réelle de 529,63 chevaux et celles du *Basilisk*, par suite de leur réduction de vitesse, ne faisaient que 341,5 chevaux. Les machines du *Niger* sont à monvement direct, on, en d'autres mots, directement articulées à l'hélice, sans intermédiaire d'engrenages. Quand les navires furent attachés par l'arrière, et que *le Niger* remorquait *le Basilisk* avec 1,1 nœud, ses machines faisaient 3150 révolutions par heure, tandis que celles du *Basilisk* n'en faisaient que 452 dans le même espace de temps, ce qui est à peu près la moitié de sa vitesse habituelle.

Nous avons ici un résultat semblable à celui du neuvième essai du *Rattler* et de *l'Alecto*, mais il n'est pas aussi exagéré. La puissance employée par le navire à hélice était plus du double de celle du navire à aubes; mais l'hélice remorquait la roue avec une vitesse de 2,8 nœuds. Ici, le navire à hélice s'est trouvé consommer moins du double de la force employée par les roues; mais son avantage en vitesse n'est que de 1 nœud à 1 ½ par heure. Il paraît, toutefois, par la comparaison de ces expériences, que l'avantage du navire à hélice sur celui à roues est proportionnel, jusqu'à un certain point, à l'excès de puissance employé par l'hélice. Cependant, cette force additionnelle ne produit pas un surcroît de poussée sur l'arbre, puisque, soit dans les navires à hélice, soit dans ceux à roues, la vitesse de rotation est toujours telle que la poussée produite sur l'eau balance la pression sur les pistons; et tant que la pression dans la machine est uniforme, la poussée sur l'arbre doit l'être aussi, quelle que soit la vitesse de révolution. Ainsi, il fut trouvé par les expériences du *Rattler*, que lorsque les navires étaient amarrés de l'arrière, la poussée sur l'arbre était 4763^k,09, c'est-à-dire à peu près la même que dans les essais précédents, où l'hélice n'avait à vaincre que la résistance du navire seul; et comme cette poussée n'avait donné qu'une faible supériorité au *Rattler* sur *l'Alecto*, lorsque les navires faisaient librement route, comment se fait-il qu'elle fût capable d'imprimer un mouvement contraire de près de trois nœuds, quand ils étaient amarrés par l'arrière? Autant que je puis le savoir, cette question n'a pas encore été résolue; mais il me paraît clair que la supériorité de traction de l'hélice, dans de telles circonstances, n'est pas le résultat d'un surcroît de pression, ou de poussée exercée par l'instrument de propulsion, mais qu'elle est occasionnée par la gravitation du navire à hélice sur un plan incliné formé par la surface de l'eau, sur laquelle il

flotte. Lorsque l'hélice est mise en révolution sous l'eau, tandis que le navire ne va pas de l'avant, elle occasionne, à la surface située audessus d'elle, un bouillonnement qui dépend de son action centrifuge : or, si une telle vague est élevée à l'arrière d'un navire à hélice, il glissera naturellement par l'action de la pesanteur, avec une force proportionnelle à son propre poids et à la hauteur de la vague. Aussi on trouve que lorsqu'un navire à hélice et un autre à roues se tirent mutuellement pendant qu'ils sont attachés par l'avant, l'avantage du navire à hélice pour attirer l'autre n'existe plus; il paraît donc que cette supériorité de traction du premier ne provient, dans le cas des expériences, que de la vague élevée artificiellement à l'arrière. Sans doute, cette vague exerce aussi de l'influence sur le navire à roues; mais comme, de même que toutes les autres, elle est plus aiguë au sommet qu'à la base, et que les arrières, par leur saillie naturelle, ne peuvent être mis l'un contre l'autre, l'arrière du navire à hélice est à son sommet, tandis que celui du navire à roues est près de sa base. Le premier a donc un plan plus incliné pour glisser que celui à roues pour monter, et par conséquent il doit l'emporter. L'arrière du navire à roues à aubes, n'est pas amené sur le haut de la vague par son mouvement progressif en arrière, car celle-ci suit nécessairement le navire à hélice, puisque, par le fait, elle est constamment produite par l'action de son propulseur, et disparaît aussitôt que l'eau cesse d'être troublée par sa force centrifuge.

Bien que dans quelques cas particuliers il faille reconnaître un avantage à la facilité de produire, à quelque prix que ce soit, un surcroît de force de traction, cependant il ne convient pas d'employer journellement un moyen aussi coûteux; et puisque les navires à hélice de construction ordinaire gaspillent beaucoup de puissance quand ils sont employés à remorquer une grande résistance, ils sont, par conséquent, dans leur état actuel, peu convenables pour un tel usage. Dans les expériences ou *le Rattler* et *le Niger* remorquaient par l'arrière des navires semblables, mais à roues, ils perdaient tant de force que si ce qu'ils dépensaient avait été appliqué à des roues, ils auraient obtenu des résultats bien supérieurs à ceux que donnait leur hélice. Il en eût été de même si, au lieu de faire tourner très-vite une petite hélice, on en avait employé une plus grande, ou si elle avait été plus profondément immergée. Celle du *Rattler* n'étant que de 3^{m},050 de diamètre et 0^{m},381 de long, acquiert plutôt un mouvement de rotation rapide en eau tranquille que celle du *Niger*, qui a 3^{m},812 de diamètre et 0^{m},75 de long. Par

conséquent, l'action centrifuge était plus grande pour *le Rattler* que pour *le Niger*. Il est vrai que plus de force était dépensée, et qu'un plus grand effet était obtenu, c'est sans doute parce qu'une plus grande vague était élevée vers l'arrière. Mais il y avait beaucoup moins d'effet utile que si la même quantité de force avait été dépensée d'une meilleure manière, en donnant un mouvement plus lent à un instrument qui, en raison du surcroît de résistance à vaincre, aurait eu, pour ainsi dire, une meilleure tenue dans l'eau.

En se reportant au tableau, on verra que dans les essais n°s 6 et 12, dans lesquels les navires à hélice et à roues furent employés à se remorquer alternativement, le second atteignit la plus grande vitesse avec la dépense moindre de force. Ainsi, dans l'essai n° 12, *le Niger* remorqua *le Basilisk* avec une vitesse de 5,63 nœuds avec une force effective de 593,9 chevaux, les machines faisant 3632 révolutions par heure, tandis que *le Basilisk* remorquait *le Niger* avec 6 nœuds par heure, en faisant 572,3 chevaux de force effective et ne donnant que 827 coups de piston par heure. Il en résulte que la machine de l'hélice exerçait environ 22 chevaux de plus que la machine à roues; et cependant son navire n'obtenait que la plus petite marche. Dans cet essai, les machines des roues à aubes éprouvaient une dépréciation de 28 pour 100 de la vitesse de leur piston, mais seulement 21 pour 100 de leur puissance, parce que, comme la vitesse du piston était diminuée, la pression de la vapeur était un peu plus haute. La machine à hélice n'avait en moins que 10 pour 100 de la vitesse du piston et 10 pour 100 de sa force, la pression de la vapeur n'éprouvant pas de changement.

Pendant ces expériences, il fut trouvé que *le Niger* consommait en moyenne un tiers de plus de charbon que *le Basilisk* pour produire la même puissance de machine; mais cela n'était qu'accidentel et provenait des imperfections des chaudières ou des machines du navire à hélice, et nullement de la nature du propulseur. En réalité, le résultat eût été le même si les machines du *Niger* avaient été employées à mouvoir des roues à aubes, ou à produire de la force dans tout autre but. Admettant toutefois que la même quantité de force existât à bord des deux navires, ce qui eût été produit bien certainement pour la même quantité de combustible, il n'en existe pas moins un désavantage comparatif du côté de l'hélice, à cause de la perte de puissance résultant de son emploi, soit en remorquant un autre navire, soit en luttant contre un vent contraire. De quelque manière que l'action de l'hélice soit envi-

sagée, le résultat serait le même, que la vitesse fût réduite de 10 nœuds à 6, en remorquant un autre navire, ou que ce fût par l'obstacle d'un vent contraire; et puisque, quand on l'applique à ces navires, l'hélice occasionne de grandes consommations, on ne doit pas l'employer quand on est exposé à rencontrer des vents contraires.

Dans les secondes séries où les navires furent poussés par l'action combinée du vent et de la machine, *le Basilisk* paraît avoir conservé des qualités à peu près égales à celles du *Niger*, mais les vents étaient trop faibles pour regarder ces résultats comme concluants. Dans les troisièmes séries, faites avec les voiles seules, *le Niger* eut de l'avantage sous tous les rapports. Dans la dernière de ces expériences, avec les voiles seules, la vitesse du *Niger* fut d'environ 12 nœuds à l'heure.

Je ne crois pas nécessaire de discuter si la préférence est à donner aux aubes ou à l'hélice; sous tout autre rapport qne leur efficacité mécanique comme propulseurs, l'avantage serait évidemment du côté de la dernière, car elle présente un moyen de marche beaucoup moins encombrant, et elle s'assortit mieux aux dispositions qu'exige l'emploi des voiles. Cependant il ne paraît pas, d'après les expériences citées, que la supériorité d'un navire à hélice avec la voile et la vapeur combinées ou avec ses voiles seules, soit assez grande pour constituer un avantage notable. Les navires à roues déployant la même surface de voilure, obtiennent à peu près la même vitesse que ceux à hélice : et la supériorité attribuée à ces derniers navires, sous ce rapport, ne provient le plus souvent que de ce qu'ils en ont une beaucoup plus grande. Par conséquent, il ne paraît y avoir aucune raison de croire que les navires à roues d'un fort tonnage, pourvus d'une force auxiliaire, soient moins bons que ceux à hélice du même tonnage, et ayant aussi une puissance auxiliaire. Les navires employés par la *General steam navigation company* ont été, par le fait, pendant plusieurs années, des bâtiments à roues avec une puissance auxiliaire, les machines n'étant que de petites dimensions relativement à leur grosseur. Ainsi, lorsqu'on emploie une force auxiliaire, ce n'est pas autant parce qu'elle est plus efficace, que parce qu'elle est d'une disposition plus facile, que l'hélice doit être adoptée. Les machines à hélice peuvent être faites de manière à occuper beaucoup moins d'espace que celles à roues; elles sont aussi plus légères et moins coûteuses. Pour les navires de guerre, tout l'appareil de propulsion est sous la ligne de flottaison et à l'abri du boulet, tandis que les ponts sont laissés libres et dégagés pour le service de l'artillerie. Sur les

navires qui ont une proportion de puissance si faible qu'ils ne sauraient lutter contre de forts vents contraires, et sur ceux destinés à la guerre, l'hélice est, sans contredit, de beaucoup à préférer. Au contraire, la roue à aubes est certainement le meilleur moyen de propulsion pour les navires ayant une puissance proportionnelle très-grande, et forcés, par leur service, de lutter souvent contre de grands vents variables ou contraires, dans des voyages de pen de durée, mais qui doivent s'effectuer avec régularité et économie. Si le voyage doit être long, relativement à la grosseur du navire, de manière à ce que l'approvisionnement de charbon nécessaire pour le trajet influe beaucoup sur le tirant d'eau, il arrive que l'immersion des aubes sera si grande au départ et si faible vers la fin du voyage, qu'elles fonctionneront très-mal dans ces deux cas contraires. Il en résultera donc que les navires à roues, partant pour de longs voyages, seront souvent gagnés par les bâtiments à hélice d'une force très-inférieure; car les roues à aubes agissent fort mal quand elles sont trop enfoncées dans l'eau, tandis que c'est alors que l'bélice fonctionne le mieux.

Tous les meilleurs navires à roues à aubes sont maintenant pourvus d'une détente variable, au moyen de laquelle la machine travaille avec une grande expansion lorsqu'il fait calme ou bon vent, tandis qu'elle introduit la vapeur pendant toute la course du piston, lorsque lo vent est contraire. On entend par travailler avec détente, arrêter l'entrée de la vapeur dans les cylindres, après que le piston a parcouru une certaine portion de sa course, et laisser accomplir le reste du parcours, non par l'admission de nouvelle vapeur, mais par l'expansion de celle déjà introduite et renfermée dans le cylindre. Il s'ensuit que la force développée par chaque coup de piston se trouve diminuée, mais que la consommation de vapeur l'est aussi dans un beaucoup plus grand rapport. Car si la vapeur est arrêtée, lorsque la moitié de la course du piston est accomplie, il ne faudra que la moitié de la quantité habituelle de vapeur pour chaque coup de piston; mais on aura fait plus de la moitié de la force, car par son expansion la vapeur une fois isolée fait encore nn pen de force, et cette force est obtenue sans la moindre dépense. Par conséquent, il est économique d'user de la détente dans les circonstances convenables, et dans les navires de construction récente, et on le fait généralement lorsque les machines n'éprouvent pas un surcroît d'obstacle. Mais lorsque par un vent contraire, la vitesse du navire, et celle de la machine, se tronvent diminuées, on admet plus de vapeur pendant

chaque coup de piston, en donnant une disposition convenable à la soupape destinée à régler son admission, et la vitesse du navire est mieux maintenue que si le surplus de vapeur, occasionné par la diminution de vitesse du piston, était lâché dans l'atmosphère. De la sorte, la force employée à ponsser le piston est augmentée dans la même proportion, que la vitesse de la machine est diminuée par l'obstacle à la marche du navire, et, si on mesurait avec un dynamomètre la poussée en avant de l'arbre, on trouverait qu'elle est beaucoup plus grande avec vent debout qu'avec bon vent. Dans un navire à hélice, de construction ordinaire, cela ne saurait être poussé aussi loin : car comme la vitesse de la machine est à peu près la même avec vent contraire qu'avec bon vent et avec des circonstances de mer différentes, il n'y a pas d'accumulation de vapeur qui permette d'employer le moyen dont il est question. Par conséqnent, si des machines à hélice travaillent avec de la détente dans les circonstances favorables ou ordinaires, elles doivent conserver la même expansion avec les vents contraires, parce qu'il n'y a pas alors de surplus de vapeur pour permettre de travailler d'une autre manière. Si l'hélice avait le même recul proportionnel que la roue à aubes, lorsqu'elle éprouve la résistance d'un vent contraire, les machines à hélice pourraient aussi dans de telles circonstances, marcher à toute vapeur : et la poussée de l'arbre de l'hélice serait de la sorte augmentée, tandis qu'il y aurait moins de charbon brûlé.

COURBES D'INDICATEUR ET DE DYNAMOMÈTRE DU *RATTLER*.

Les planches I et II montrent les courbes de dynamomètre et d'indicateur prises à bord dn *Rattler* dans plusieurs des expériences détaillées plus haut. On y donne aussi les courbes d'indicateur de *l'Alecto*, pour comparer les puissances effectives des deux machines; toutefois, celles du dynamomètre sont les plus instructives et celles portées sur la planche ont été choisies parmi un grand nombre de courbes prises pendant les expériences. Dans quelques cas le dynamomètre consiste en un seul long levier, dont l'nne des extrémités est pressée par un ressort en spirale, et dans d'autres cas il est formé de combinaisons de leviers, au moyen desquelles le même but est atteint. Le tambour sur lequel tourne le papier peut être fait en bois, et il est tourné de telle sorte, que sa vitesse est diminuée ou augmentée dans de certaines proportions. Ainsi, si les changements de pression sont rapides et brusques, la vitesse de rotation

du tambour est augmentée, et les différentes lignes tracées sur le papier risquent moins de se confondre.

Courbes A *et* B, planche I.—La courbe A a été prise à 9h 45, le 30 mars 1845, à la première série des expériences dont il a été question. La machine était à la 2e came de détente et faisait 23 ¾ révolutions; la vitesse du navire était 8,6 nœuds. La pression moyenne montrée par la courbe de dynamomètre est 18k,238, et celle donnée par trois autres courbes 17k,773. Le rapport de la pression sur le ressort à celle sur l'arbre est comme 1 à 196. La conrbe B, quoiqu'en apparence différente de celle A, est semblable dans le fond : car la dissemblance ne provient que de ce que le mouvement du tambour est plus lent dans le cas de la courbe B que dans celui de la courbe A. La pression moyenne donnée par la courbe B est 19k,361, et la moyenne de trois antres courbes est 19k,644. Mais un autre calcul donne 20k,175; les machines travaillaient alors à la 2e came et faisaient 24 tours.

Courbes C *et* D, planche I.—Ces conrbes ont été prises pendant la 3e expérience du *Rattler*, le 31 mars 1845, avec nn vent debout frais et un peu de mer. La courbe C fut prise à 10h,35 dn matin, et on employa 6' à la faire; la machine faisait 23 tours et le navire 5 ½ nœuds. La courbe D fut prise le même jour à 3h ½ du soir; les machines à 25 tours et le navire à 8,8 nœuds; la pression moyenne sur le ressort, montrée par la courbe C est 21k,767, et la moyenne de trois autres courbes est 21k,949. La pression moyenne montrée par la courbe D est 21k,536, et celle de trois autres 21k,402. Les résnltats donnés par ces deux courbes sont presque les mêmes, et leur différence d'aspect ne provient que de celle de la vitesse de rotation du tambour; dans le cas de la courbe C, il ne tournait pas avec la moitié de la vitesse de celle D, et par conséquent cette dernière est plus allongée. La plus grande irrégularité de forme de ces courbes relativement à celles A et B provient des mouvements de la mer.

Courbe E, planche I. — Cette courbe fnt prise à 11h du matin le 1er avril 1845, sans que *l'Alecto* fût essayé en même temps; mais elle est donnée, parce qu'elle montre le meilleur résultat qu'on ait en. La machine faisait 26 tours, et le navire 10 nœnds avec jolie brise de l'arrière, mais toutes les voiles serrées. La pression moyenne sur le ressort montrée par cette courbe était 21k,905, mais la moyenne de cinq autres était 21k,165; la pression moyenne daus les cylindres était en même temps, d'après l'indicateur, de 0k,842 par centimètre carré, après avoir déduit 0k,105 pour

les frottements. On remarquera que cette courbe est beaucoup moins saccadée que les précédentes, ce qui provient de ce que le vent et la mer avaient la même direction que le navire.

Courbe F, planche I. — Cette courbe a été prise pendant le septième essai, le 3 avril 1845, à $10^{h} \frac{1}{4}$ du matin ; *l'Alecto* était remorqué par *le Rattler* avec une vitesse de 7,05. Les machines faisaient 24 $\frac{1}{2}$ tours ; la pression moyenne sur le ressort du dynamomètre était 23^{t},078, et la moyenne de deux autres courbes 23^{t},776. La courbe est moins dentelée que la précédente, ce qui doit être attribué à la diminution de la vitesse avec laquelle le navire séparait l'eau.

Courbe G, planche I. — Cette courbe et deux autres semblables ont été prises pour vérifier une conjecture qui avait été faite sur la forme irrégulière et dentelée des courbes du dynamomètre. En supposant une courbe telle que celle A, on avait observé que l'une des plus grandes projections était produite par chaque révolution de la machine, et une des plus petites fluctuations du crayon (celle qui précède et occasionne pour ainsi dire la grande) par chaque révolution de l'hélice. On avait remarqué antérieurement que la poussée de l'hélice était plus grande lorsque ses deux ailes étaient verticales et par conséquent dans l'alignement de l'étambot; et le surcroît de poussée, lorsqu'elle était dans cette position, était attribué à la rencontre de l'eau arrêtée par le contre-étambot et qui avançait avec le navire. Il est évident que dans le cas d'une hélice se mouvant en eau libre, la poussée serait proportionnelle à la différence entre la vitesse du navire et celle avec laquelle l'hélice avancerait, si elle tournait dans un écrou fixe; et si l'hélice avance dans l'eau seulement avec une vitesse égale à la marche du navire lui-même, il ne saurait y avoir de poussée sur l'arbre. Si au lieu de tourner en mer libre, l'hélice le faisait dans une caisse d'eau entraînée par le navire, il y aurait un peu de poussée sur l'arbre pour chaque vitesse de révolution de l'hélice, et l'eau morte ou tranquille qui séjourne de l'arrière de l'étambot, agirait de la même manière que si elle était renfermée dans une caisse fixée au bâtiment. Il en résulte que lorsque l'hélice arrive dans cette eau tranquille, la poussée n'est plus celle qui répond à la différence de vitesse entre le navire et l'hélice, mais bien plutôt à celle qui correspond à l'avance totale de l'hélice. Si cette résistance était opposée à l'hélice sur toutes les parties de sa révolution, il en résulterait seulement que sa vitesse de rotation serait diminuée, jusqu'à ce que la résistance arrivât à être en équilibre avec la force exercée par la machine. Mais comme la résistance la plus

forte existe seulement dans une position, le mouvement de l'bélice et de tout le mécanisme l'entraîne sans qu'elle diminue de vitesse, et la conséquence naturelle est que la poussée est momentanément augmentée. Elle devient aussi plus forte dans la partie de la révolution, où la machine exerce le plus de force, et ces influences combinées donnent à la courbe du dynamomètre cette forme dentelée, qui marque les variations de l'impulsion. Ces considérations font voir que si la cause principale de la forme dentelée des courbes est l'entrée de l'bélice, dans l'eau morte à l'arrière de l'étambot, quand ses ailes sont verticales et lorsque le navire marche rapidement; cette forme dentelée cessera quand l'hélice tournera sans que le navire marche. C'est pour le montrer qu'on a pris la courbe G et deux autres semblables, en marchant d'abord en arrière avec une vitesse de 8 nœuds, la machine faisant 26 révolutions, puis en renversant subitement le mouvement pour marcher en avant. Tandis que le navire reculait encore et avant qu'aucun mouvement vers l'avant fût sensible, on prit la courbe G et deux autres semblables et on trouva, comme on s'y attendait, que la forme dentelée avait entièrement disparu. La pression moyenne de cette courbe était 24^{t},800 et celle des deux autres 23^{t},440.

Courbe H, planche I. — Cette courbe et deux autres semblables furent prises pendant la neuvième expérience, lorsque les navires essayèrent leur force relative de traction en s'amarrant par derrière. Les machines du *Rattler* faisaient 19 révolutions pendant qu'il remorquait l'*Alecto* contre la force de ses machines avec une vitesse de 2,8 nœuds par heure. La pression moyenne montrée par la courbe H était 23^{t},584 et la moyenne de trois autres était 24^{t},302. On remarquera que dans ces dernières expériences, la vitesse des machines était un peu diminuée, celle du navire l'étant elle-même beaucoup; la poussée de l'bélice était devenue un peu plus grande qu'auparavant à cause de l'accumulation de vapeur dans les chaudières et de l'accroissement de pression sur les pistons produit par ce surcroît d'énergie de la vapeur. Avec une pression égale il n'y aurait pas de surcroît de poussée sensible sur l'arbre, quelle que fût sa vitesse de rotation ou celle de la marche du navire.

Courbe I, planche I. — Cette courbe fut prise à 7^{h} $\frac{1}{2}$ du soir, le 3 avril, pour déterminer la poussée de l'arbre lorsque la machine travaillait avec sa plus grande détente, et faisait 21 révolutions; il n'y avait pas de vent et le navire filait 8 $\frac{1}{4}$ nœuds. La pression moyenne sur le ressort du dynamomètre montrée par la courbe I était 14^{t},459 et la moyenne de

quatre autres $14^{k},372$. Parmi les courbes d'indicateur données sur la planche II on trouvera celle qui répond à cette expérience.

Courbe K, planche I. — On prit cette conrbe dans l'intention de montrer la poussée sur l'arbre de l'hélice, quand la vapeur était interceptée autant que possible, sans toutefois arrêter lee machines. On ferma le registre au point de réduire le nombre des coups de piston à 17 et la vitesse du navire à 6 nœude et ensuite de manière à ne faire que 12 tours et 4 nœuds. La courbe K fut prise lorsque la machine faisait 12 tours, la pression moyenne sur le reesort du dynamomètre de cette conrbe est $10^{k},991$ et la moyenne de quatre autres semblablee $10^{k},899$. Ici on remarquera que les projections de la courbe e'étendent beaucoup en dehors, parce que les alternatives de poussée se présentent moins fréquemment, à cause du nombre moindre de révolutione, et cet effet snr le contour de la conrbe est le même que si on donnait au tambour du papier une plus grande vitesse relativement à celle de l'arbre.

Courbe L, planche I. — Elle fut prise pendant le dixième essai du *Rattler* à 11^{h} du matin le 8 avril 1845 : la mer était assez belle et une brise fraîche soufflait du boseoir de babord. La machine faisait 24 $\frac{1}{2}$ tours, la pression moyenne du piston en déduisant $0^{k},105$, pour le frottement était $0^{k},837$, et la vitesse du navire 8 $\frac{1}{2}$ nœuds ; la pression moyenne sur le ressort dn dynamomètre montrée par la courbe L était $18^{k},503$ et la moyenne de quatre autree 18,956 ou par un antre calcul $18^{k},108$.

Courbe M, planche II. — Cette courbe est une des plus importantes de la série : elle fnt prise pendant le onzième essai du *Rattler*, à 10 $\frac{1}{2}$ du matin, le 10 avril avec une forte brise et une grosse mer debout. La machine faisait alors 22 tours, et à cause du mauvais temps la vitesse du navire n'était que de 4,2 nœuds. La pression moyenne sur le ressort du dynamomètre montrée par cette courbe est $19^{k},392$ et celle de cinq autres courbes semblables 18,999 ou par nn antre calcul $19^{k},011$; mais la première de ces deux quantités est la plns correcte.

Pendant le donzième essai du *Rattler*, on ne prit pas de courbes de dynamomètre et celles dont il vient d'être question et qui sont représentées eur la planche I serviront à donner une idée juste de la nature générale des résultats.

Courbes d'indicateur, planche II. — Sur cette seconde planche on trouve les conrbes d'indicateur, prises en même temps sur les cylindres du *Rattler* et sur ceux de *l'Alecto*, pendant les expériences précédentes et chaque figure eet désignée de manière à pouvoir être rapportée à l'essai

auquel elle appartient; de la sorte il est facile de les comparer aux courbes du dynamomètre de l'autre planche. Il convient d'expliquer qu'une courhe d'indicateur sert à déterminer la force d'une machine, en exprimant elle-même les différentes pressions de la vapeur et du vide pendant une course du piston. Ce résultat est ohtenu en plaçant, au sommet ou au bas du cylindre à vapeur, un petit cylindre d'un demi ou d'un ponce de diamètre, avec un piston libre dans son intérieur : ce petit piston est uni à un ressort en boudin, de manière à ce que l'étendue dont ce ressort cède d'un côté ou de l'autre, lorsqu'une communication est onverte avec la machine, montre de combien la vapeur presse au-dessus de l'atmospbère et de combien le vide suce à l'opposé : la somme de ces deux quantités exprime la force qni pousse le piston. D'un autre côté, nn crayon est fixé au petit piston, et comme il appuie sur nn tambour on snr un morceau de papier mû dans une direction horizontale, il résultera du mouvement vertical du crayon et horizontal du papier, le tracé d'une figure, qui montrera la puissance avec laquelle la machine agit : cette figure est ce qu'on nomme nne courbe d'indicateur. Avant que le piston de l'instrument soit mis en communication avec la machine, on donne nn monvement horizontal au papier, pour tracer ce qu'on nomme la *ligne atmosphérique*, de sorte que toute la partie de la courbe au-dessns de cette ligne est due an surcroît de la pression de la vapenr, et toute celle en dessous au vide, on plutôt à l'excès de celle de l'atmosphère sur le pen de tension qni reste dans le condenseur. La hauteur totale de la conrbe indique la force totale qui ponsse le piston, et on trace un nombre convenable d'ordonnées, comme sur quelques figures de la planche II, de manière à obtenir la moyenne des hauteurs de la courhe : cette hanteur mesurée snr une échelle, déterminée d'après le diamètre du piston de l'instrument et la force de son ressort, donnera le nombre moyen de kilogrammes de la pression qui pousse le piston, ponr chacun des centimètres carrés de sa surface. Déduisant 0^{k},105 pour compenser la force consacrée à vaincre les frottements de la machine elle-même; multipliant le reste par la surface des deux pistons exprimée en centimètres carrés, par la vitesse du piston en mètres par minute et divisant par 75, on a le nombre réel de chevaux produit par la machine [1].

[1]. La manière d'évaluer la force des machines à vapeur au moyen de l'indicateur est détaillée dans le *Catéchisme du mécanicien à vapeur*.

CHAPITRE V.

DE LA VALEUR COMPARATIVE DES DIFFÉRENTES SORTES D'HÉLICES.

De nombreuses expériences ont été faites à bord des navires de Sa Majesté britannique *le Rattler*, *le Dwarf* et *le Minx*, ainsi que du navire de guerre français *le Pélican*, pour déterminer les qualités des différentes hélices propulsives. L'ensemble de ces expériences a produit des résultats utiles; mais celles du *Pélican* ont été exécutées avec plus de soin et paraissent avoir été conduites avec une plus grande précision scientifique. Cependant, il y a un point de vue sous lequel elles sont moins satisfaisantes que celles opérées en Angleterre; sur le navire français, il n'y avait pas de dynamomètre employé à mesurer la poussée de l'arbre; et quoique la vitesse obtenue avec une hélice donnée, relativement à la force dépensée, donne une mesure de son efficacité propulsive; cependant il est très-avantageux de mesurer la poussée directe de l'arbre, aussi bien que la force des machines et la vitesse du navire.

Les expériences du *Rattler* commencèrent en 1843, et leur but principal était de reconnaître la meilleure longueur à donner à l'hélice pour obtenir un maximum de vitesse. La première hélice du *Rattler* avait $2^m,745$ de diamètre, $1^m,677$ de long, $3^m,355$ de pas. Elle formait un demi-tour d'un double filet dans le genre de celui employé d'abord sur *l'Archimède;* sa longueur fut successivement réduite à $1^m,295$, à $0^m,915$ et à $0^m,457$, et enfin à $0^m,380$. On trouva de l'avantage à cette réduction de longueur. On essaya différentes hélices et en même temps des propulseurs consistant en lames plates, placées obliquement sur l'axe. Mais on trouve que l'hélice ordinaire à deux ailes et avec un pas uniforme valait autant que les autres.

Les expériences du *Dwarf* furent faites en 1845 dans le but de déterminer le pas convenable de l'hélice relativement à son diamètre. L'hélice était à deux branches et avait un pas uniforme. Son diamètre était $1^m,728$, et le pas fut augmenté de $2^m,440$ jusqu'à un peu plus de $3^m,965$. On fit quatre expériences avec un pas de $2^m,440$; la longueur de l'hélice étant progressivement réduite de $0^m,762$ à $0^m,610$, à $0^m,457$ et à $0^m,305$.

Le nombre moyen de révolutions par minute pour ces différentes longueurs fut 28,3, 29,6, 30,1 et 32,2, et la puissance développée par la machine 130 ½, 151 ½, 137, et 169 chevaux pour chaque essai. La vitesse du navire augmenta à peu près dans le rapport de la diminution de longueur de l'hélice. Avec l'hélice de 0^m,762 de long, la vitesse était 8,65 nœuds; mais, avec les autres, elle augmenta et devint de 8,95, 8,95 et 9,11. Le résultat avec l'hélice la plus courte fut le plus mauvais, relativement à la force dépensée. Huit expériences furent faites avec différentes longueurs d'hélices de 3^m,147 de pas, et douze autres avec différentes longueurs d'hélices de 4^m,035 de pas. Avec une hélice 0^m,864 et de 3^m,147 de pas, la surface des ailes est la même que dans le cas d'une hélice de 0^m,762 de long et de 2^m,440 de pas, c'est-à-dire environ 2^m,004 carrés. Avec 30,9 révolutions de la machine par minute et avec la force d'environ 144 chevaux de force, cette hélice poussait le navire avec une vitesse de 8,89 nœuds. Son utilisation est toutefois à peu près égale à celle d'une hélice de la même surface d'ailes et de 2^m,440 de pas. En outre, une hélice de 0^m,958 de long, 3^m,972 de pas, avait la même surface d'ailes qu'une de 0^m,864 de long et 3^m,162 de pas, et avec 34 révolutions de la machine par minute et une force développée de 149 ½ chevaux, elle produisait une vitesse de 8 ½ par heure. Pendant toute la série de ces expériences avec 3^m,972 de pas, et l'hélice variant en longueur depuis 0^m,305 jusqu'à un peu plus de 0^m,915, le résultat fut inférieur à ceux obtenus avec les hélices de 2^m,440 et de 3^m,050 de pas. Les plus grandes vitesses, relativement aux puissances dépensées, c'est-à-dire le meilleur résultat de ces séries, sont celles obtenues avec l'hélice de 0^m,457 de long et 2^m,440 de pas.

Les expériences de *la Minx* furent exécutées en 1847 et 1848. Leur but était de déterminer si l'on devait préférer l'hélice de Smith avec un pas uniforme à celle de Woodcroft avec un pas croissant. On en essaya aussi une proposée par M. Atherton, ingénieur en chef à Woolwich, formée avec moins de pas au centre qu'à la circonférence, afin que sa partie centrale pût avancer dans l'eau comme si elle tournait dans un écrou solide, tandis que celle voisine de la circonférence agît seule réellement. Le but de cette disposition est d'empêcher le mouvement centrifuge imprimé à l'eau par la partie centrale; et maintenant on construit souvent des hélices propulsives de cette sorte; la différence entre le pas près du noyau et celui près de la circonférence est d'environ 10 pour 100. Le pas d'une hélice est la distance mesurée dans la direction de l'axe

entre un filet et le même filet arrivé à la fin d'nne révolution. De la sorte, le pas est l'expression de la finesse ou de la grossièreté de forme de l'hélice, si on peut s'exprimer ainsi; et un escalier en colimaçon ordinaire est une bélice à pas uniforme. Si, au contraire, les marcbes de l'escalier deviennent plus hautes à mesnre qu'on monte, cela forme une bélice à pas croissant dans la direction de sa longueur; mais si tontes les marches sont semblables, tandis que chacune est plus profonde à la circonférence qu'au centre de la tour, l'escalier forme une vis avec un pas croissant du centre à la circonférence.

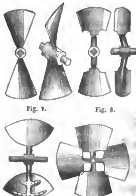
On essaya anssi, à bord de *la Minx*, une forme d'hélice dans laquelle le pas augmentait non-seulement du centre à la circonférence, mais en outre dans le seus de la longueur, et cette sorte d'bélice a donné de très-bons résultats. Eu résumé, l'avantage que l'on tronve en s'éloignant de la forme première à pas nniforme est très-faible, surtout lorsqne l'bélice est proportionuée de manière à avoir très-peu de recul.

HÉLICES ESSAYÉES A BORD DU *RATTLER*.

Les formes des différentes bélices essayées à bord du *Rattler* sont représentées par les gravures ci-jointes.

La fig. 4 est une vue en perspective de l'hélice de Smitb, à denx filets ou ailes, telle qu'on l'a définitivement établie à bord du *Rattler*, et qui est maintenant la plus souvent adoptée dans la marine anglaise. La fig. 3 est une vue dans le sens de l'axe de la même hélice, ou nne sorte d'élévation en regardant le bout de l'arbre. L'bélice à trois filets de Smith diffère de celle-ci en ce qu'elle a trois ailes au lieu de deux. La fig. 5 est une vue par l'extrémité, et la fig. 6 en est une par le côté de l'hélice de Steinman. Ce propulseur est une reproduction de celui de Blaxland déjà décrit dans le premier cbapitre; mais les ailes propulsives, au lieu d'être plates, sont un peu courbées, de manière à former en réalité une hélice ayant la portion centrale coupée. La fig. 7 représente le propulseur de Suuderland, tel qu'on l'a employé à bord du *Rattler*. Ce

Fig. 3. Fig. 4. Fig. 5. Fig. 6.


Fig. 7. Fig. 8.

RÉSUMÉ DES EXPÉRIENCES EXÉCUTÉES AVEC DIFFÉRENTES HÉLICES PROPULSIVES A BORD DU NAVIRE A HÉLICE DE S. M. B., *LE RATTLER*, EN 1843, 1844 ET 1845, à un tirant d'eau moyen, de 3m,735 ; l'aire de la maîtresse section du *Rattler* est de 34mq,747 ; la largeur 9m,963 ; la puissance nominale de 200 chevaux.

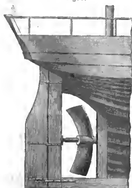
Nos des essais	DATES des essais.	FORME et description des hélices propulsives.	DIAMÈTRE des hélices.	LONGUEUR des hélices.	PAS des hélices.	NOMBRE de tours de la machine par minute.	NOMBRE de tours de l'hélice par minute.	VITESSE de l'hélice par heure.	VITESSE du navire par heure.	RECUL en nœuds et pour 100 par heure.	REMARQUES.
	1843.		mètres.	mètres.	mètres.						
1	30 octobre.	Smith 2 filets.	2,745	8,377	2,355	»	»	»	»	» »	Aucun essai n'a été fait au mille mesuré, et la vitesse n'a pas été déterminée par des moyens auxquels on puisse accorder confiance.
2	8 novemb.	» »	2,742	1,257	3,355	23,5	93,9	10,088	8,343	1,745 ou 20,91	On ne doit pas tenir compte de ces premières expériences, qui ne sont considérées que comme un préliminaire aux essais comparatifs avec le navire semblable le *Prométhée*.
3	8 »	» »	2,745	1,257	3,355	24,9	94,0	10,197	8,747	1,950 ou 25,64	
4	15 »	» »	2,745	0,913	3,355	25,9	98,0	10,651	8,865	1,786 ou 19,92	
	1844.										
5	5 février.	» »	2,745	0,913	3,355	26,4	100,0	11,499	9,240	2,259 ou 24,44	Vitesse du *Prométhée* 8,757 nœuds, recul de la courroie 2,70 pour 100.
6	8 »	Smith 3 filets.	2,745	8,668	2,352	24,2	94,3	10,297	6,237	4,060 ou »	Une des courroies se brise.
7	13 »	» »	2,745	0,520	3,355	25,1	92,0	9,980	8,096	1,884 ou »	Brise fraîche du travers.
8	23 »	» »	2,745	0,463	3,355	24,8	98,5	10,955	8,561	2,394 ou 21,2	Petite brise du travers. La pression très-basse.
9	26 »	Smith 2 filets.	2,950	0,913	3,355	23,8	64,8	»	8,958	» »	Deux courroies se brisent. Vent du travers.
10	5 mars.	» »	3,050	0,813	3,355	24,8	88,0	10,738	9,234	1,360 ou 12,8	
11	11 »	» »	3,050	0,610	3,355	25,4	100,6	10,918	9,445	1,462 ou 15,4	Recul de la courroie 1,1 pour 100.
12	14 »	Smith 2 filets.	2,745	0,356	3,355	27 ½ à 28	»	»	»	» »	Pas de résultat à cause de la rupture des bras de l'hélice.
13	18 »	Woodcroft 4 fil.	2,745	9,483	3m,355 au commencement et 3m,552 à la fin.	26,2	104,3	11,324	8,180	3,143 ou 27,77	Vent de travers. Recul de la courroie 3,0 pour 100.
14	20 »	Smith 2 filets.	3,050	0,380	3,355	26,4	105,3	18,5	8,075	» »	L'hélice est brisée.
15	13 avril.	Woodcroft 4 fil.	2,745	0,483	3m,355 au commencement et 3m,552 à la fin.	24,1	95,9	10,674	8,189	2,815 ou 23,56	Petite brise du travers. Recul de la courroie 0,834 pour 100.
16	18 »	Woodcroft 2 fil.	2,745	0,483	»	27,0	107,5	11,950	8,632	3,318 ou 27,78	Brise très-faible.
17	23 »	Smith 3 filets.	2,745	9,556	3,553	27,3	108,4	11,769	9,880	1,889 ou 16,0	Position de l'hélice 0,305 en avant du centre de l'ouverture dans le massif arrière ; chanfrein du côté de l'arrière.
18	29 »	» »	2,742	0,356	3,355	25,3	100,8	10,942	9,628	1,314 ou 12,0	Brise d'est fraîche.
19	9 mai.	Smith 2 filets.	3,050	9,457	3,353	25,2	102,2	11,078	8,724	1,357 ou 12,24	L'hélice de 0m,508 de longueur au noyau. Position à environ 0m,254 en avant du centre de l'ouverture.
20	5 juin.	» »	3,050	0,380	3m,552 en dehors. 2m,745 en dedans.	27,4	108,2	11,737	9,579	2,158 ou 18,3	Brise légère.
21	13 »	» »	3,030	0,457	»	27,9	110,2	12,000	9,211	2,189 ou 18,24	Position de l'hélice à 0,356 en arrière du centre de l'axe.
22	27 »	» »	3,050	0,380	3,355	26,1	103,6	11,246	10,074	1,172 ou 10,42	Une des courroies se brise. Pas de vent.
23	13 juillet.	» »	3,050	0,380	3,355	26,0	103,4	11,222	10,014	1,207 ou 10,77	Dépasse la *Calédonia*, vapeur écossais avec une différence de 1 mille par heure.
24	4 octobre.	» »	3,050	0,380	3,355	25,2	100,9	10,881	9,649	1,232 ou 11,22	
25	10 »	Sunderland 2 fil.	2,491	2,440	7,890	17,4	69,9	17,990	8,380	9,610 ou 53,5	Angle du propulseur 45 degrés.
26	12 »	Steinman 2 filets.	3,780	»	3,704	26,9	104,2	11,812	9,537	2,280 ou 19,2	Brise légère.
27	15 »	Sunderland 2 fil.	avec 0m,234 coupé en dedans.	»	7,930	14,2	57,0	18,564	8,346	10,218 ou 55,0	
28	17 »	Smith 2 filets.	3,050	0,380	3,355	27,0	108,8	11,715	9,858	1,822 ou 15,5	La pression basse.
29	10 janvier.	Hodgson 2 filets.	»	3,050	»	»	»	»	8,856	» »	
30	15 »	Smith 2 filets.	3,050	0,380	3,355	»	»	»	»	» »	Très-grande brise, rencontre de nombreux navires ; le navire entièrement gréé pour la mer.
31	22 »	Steinman 2 filets.	3,050	changée en ajoutant à la surface vers le centre.	3,507	25,22	100,94	10,945	9,457	1,488 ou 15,73	Brise très-légère.
32	23 »	Smith 2 filets.	3,050	0,380	3,555	26,98	107,92	11,707	9,338	2,009 ou 17,97	Brise fraîche : pression basse.

propulseur, est décrit à la page 11 du présent ouvrage, et consiste en deux ailes plates établies sur des bras fixés à un arbre tournant sous l'eau, à l'arrière du navire : à bord du *Rattler*, il fut placé dans un trou pratiqué dans le massif arrière, au lieu de l'être en dehors du gouvernail comme Sunderland l'avait proposé dans sa patente en 1843.

La fig. 8 représente le propulseur de Woodcroft, tel qu'il a été appliqué à bord du *Rattler* : il a quatre ailes et le pas de l'hélice du côté de l'arête qui coupe l'eau est moindre qu'à l'opposé. L'hélice à pas allongé de Woodcroft a eu sa longueur réduite à bord du *Rattler*, on avait déjà trouvé avantageux de le faire pour celle de Smith avec un pas uniforme.

L'hélice de Hodgson, telle qu'elle a été employée à bord du *Rattler*, n'a pas donné de résultats satisfaisants. La fig. 9 représente sa forme actuelle, avec laquelle on en a obtenu d'excellents. Cette sorte d'hélice a été beaucoup employée en France, en Hollande; et, dans quelques cas, elle a obtenu un avantage de près d'un nœud à l'heure. Toutefois un tel résultat ne se présente que lorsque la première hélice éprouve une grande perte par le recul, parce qu'elle n'a pas les dimensions convenables : et plus le recul est diminué, moins il y a d'avantage à s'écarter de la première hélice de Smith, avec un pas uniforme.

Fig. 9.



HÉLICES ESSAYÉES A BORD DU *DWARF*.

Le tableau suivant renferme les particularités des hélices de 1m,728 de diamètre, mais de pas et de longueurs différents, essayées à bord du *Dwarf* en 1845. Ces expériences ont été faites par M. Murray, et il est nécessaire de remarquer, qu'il s'y trouve un tel désaccord entre les quantités portées, pour représenter la pression mesurée par le dynamomètre, que ces quantités et les résultats numériques qui en sont déduits doivent être rejetés. Aussi on verra, en parcourant cette table, que dans les expériences 5 et 8, la poussée de l'arbre, montrée par le dynamomètre, est portée moindre que la poussée des expériences 21 à 24, quoique les mêmes hélices fussent employées dans les deux cas, et quoique la

EXPÉRIENCES FAITES A BORD DU VAPEUR A HÉLICE DE S. M. B. *LE DWARF*, EN 1845, POUR DÉTERMINER LE PAS ET LA LONGUEUR CONVENABLES AUX HÉLICES PROPULSIVES RELATIVEMENT A LEUR DIAMÈTRE.

Charge, 166 tonneaux; Creux, 2m,745; Tirant d'eau constant, AR 2m,135, AV 1m,779; Longueur entre perpendiculaires, 39m,65; Largeur, 4m,88; Diamètre des cylindres, 1m,000; Course du piston, 0m,813.

Nos DES EXPÉRIENCES.	DATE DES EXPÉRIENCES.	DIAMÈTRE DE L'HÉLICE.	PAS DE L'HÉLICE.	LONGUEUR DE L'HÉLICE.	SURFACE DES AILES DE L'HÉLICE.	ANGLE DE L'HÉLICE.	NOMBRE MOYEN de tours de la machine, par minute.	NOMBRE MOYEN de tours de l'hélice, par minute.	PROPORTION des tours de l'hélice à ceux de la machine.	PRESSION MOYENNE de la vapeur dans le cylindre, prise avec l'indicateur.	PRESSION MOYENNE sur le ressort-balance du dynamomètre.	PRESSION MOYENNE sur l'extrémité de l'arbre par le dynamomètre.	VITESSE de l'hélice, par heure.	RECUL de l'hélice, pour 100.	VITESSE du navire, par heure.	PUISSANCE TOTALE MOYENNE exercée par les machines dans le cylindre.	PUISSANCE MOYENNE employée à pousser le navire, mesurée par le dynamomètre.	VITESSE DU NAVIRE calculée dans la supposition que la force motrice fût de 160 chevaux.	PUISSANCE TOTALE dans le cylindre calculée nécessaire à faire filer 9 nœuds à l'heure.	RAPPORT DE LA PUISSANCE TOTALE donnée par l'indicateur à celle mesurée par le dynamomètre.	DIFFÉRENCE entre les puissances mesurées par l'indicateur et par le dynamomètre.
1.	2.	3.	4.	5.	6	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.
	1845.	mèt.	mèt.	mèt.	m. q.					k° par c.carré	kilogr.	kilogr.	nœuds.	p. 100	nœuds.	chevaux.	chevaux.	nœuds.	chevaux.		chevaux.
1	8 juin.	1,728	2,440	0,762	0,06	24,12	28,333	146,165	3,16:1	0,797	15.442	1383,4	11,532	25,017	9,647	130.736	80.993	9,240	147,41	1,62	40,723
2	7 »	»	»	0.910	1,653	»	29.604	152,754	»	0,884	18,866	1518,4	12.052	25,987	8,053	151,512	92,102	9,119	153,807	1,05	39,41
3	11 »	»	»	0.437	1,235	»	30,124	158,441	»	0,798	16,005	1438,3	12.264	27,112	8,839	137.043	87.283	9,413	139,871	1,57	48,79
4	13 »	»	»	0,303	0,827	»	32,106	185,973	»	0.906	17,095	1538,7	13.094	38,419	9,111	108,805	85,06	8,53	162,71	1,78	73.743
5	30 »	»	3,142	0,318	1,235	30,0	31,793	127,95	4:1	0,809	12.105	1089,1	12,931	33,147	8.606	148.757	63,536	8,818	170,135	2,33	85,219
6	2 juillet.	»	»	0,891	1,653	»	30,823	123,293	»	0.707	10.473	971,3	12.548	30.823	8,743	136,342	57.561	9,222	148.722	2,31	78,781
7	4 »	»	»	0,343	0,927	»	34.943	138,772	»	0.781	9.435	949,5	14,225	38.387	9,018	153,998	52 133	9,165	151.31	2,95	101,863
8	9 »	»	»	0.866	2,060	»	30,889	123,585	»	0,801	10.860	927.7	12,572	29.295	8.889	143,852	55.921	9,21	149,003	9,57	87,908
9	19 »	»	4,035	0.561	1.235	36,37	38,489	114,313	3,13:1	0.765	13.255	1182.3	14.002	40.411	8,83	181,701	71.83	9,849	188,315	2,25	88.871
10	19 »	»	»	0,933	2.060	»	31.018	106,571	»	0,758	15.279	1373,3	13.405	38,706	8,523	148.401	78,4	9,718	176,833	1,9	70,191
11	19 »	»	»	0.382	0,826	»	40,222	125,884	»	0.780	18.609	1764,0	10,426	14.759	9.071	176,937	108,53	8,773	172.043	1,82	98.407
12	22 »	»	»	0,782	1,052	»	35,714	111,784	»	0,805	19.811	1789.1	14.585	39.479	8.827	166,39	105.906	8.713	178,366	1.37	60,484
13	29 »	»	»	0.791	1,851	»	26,42	105,082	4:1	0.993	20.094	1807,7	13,789	39,88	8.29	151,857	101,804	8.434	184,139	1,49	50,353
14	1er août.	»	»	0,949	2.061	»	23.397	101.588	»	0,940	18.828	1755.9	13,254	39.505	8.01	139.574	95,403	9.317	197.988	1,47	44.171
15	5 »	»	»	0.582	1,235	»	26,028	101,111	»	0,778	18.045	1713,3	13,504	41,674	7.923	117,264	92,025	8,788	171.853	1,27	23.041
16	6 »	»	»	0,518	0,828	»	28.88	119.322	»	0,851	21.862	1962.0	15 568	49,172	8.38	147,458	110,568	8,011	182.868	1,32	36.872
17	13 »	»	»	0.382	0,828	»	21,058	111.756	3,16:1	0,930	18,542	1867.9	14,381	40.122	7.856	110.651	88.831	8.729	175,420	1,31	27,82
18	15 »	»	»	0,582	1,235	»	19,889	102,829	»	0,989	18,317	1948 4	13 39	42,843	7.644	114,232	95.436	8,553	166,448	1,34	28,769
19	18 »	»	»	0,782	1,852	»	18.98	97.838	»	1.014	18,533	1757.0	12,778	41,165	7,518	111,479	89,573	8,48	181,255	1,23	21,906
20	18 »	»	»	0.833	2,060	»	18,481	95,113	»	1,017	19,293	1735,9	12,419	39,553	7,213	108,831	98,557	8,550	186,182	1,22	20,274
21	19 »	»	3,143	0,860	2,060	30,6	22,514	116.171	»	0.976	22,433	2017.8	11,823	29.833	9,284	127,297	113.368	8,04	103,24	1,12	13,929
22	20 »	»	»	0 526	1,235	»	24.38	128,382	»	0.929	21,562	1939.6	13,066	36.423	9.307	134.005	109,272	9,319	170,418	1,23	24.733
23	21 »	»	»	0,345	0,826	»	26 656	137.346	»	0,897	22.497	2023.0	13,909	38,51	9 608	139.481	118,123	8.033	158,272	1,17	20,356
24	25 »	»	»	0.881	1,652	»	23,861	123,136	»	0,910	21.971	1972,1	12,532	32.048	8.403	126.394	112,349	9,085	133,538	1,13	14.243
25	28 »	1,359	»	0,525	0,682	21,12	30,807	159,965	»	0,842	20.720	1938,2	13,077	19,353	7,94	144,403	98,961	8,222	211,033	1,46	45,044

force développée par les machines fût plus grande dans les premières de ces expériences. Le résultat de cette erreur est que le rapport de la force par l'indicateur, à la puissance mesurée par le dynamomètre, est porté deux fois plus grand dans les expériences de 5 à 8 que dans celles de 21 à 24 : résultat qui ne serait possible que si, dans la seconde série, le navire avait été employé à en remorquer un autre, ou s'il avait eu à lutter contre un vent et une mer contraires; mais il n'en est pas ainsi avec un navire appelé simplement à répéter les mêmes expériences dans des circonstances semblables de mer calme. Pendant le 3e essai, la vitesse réalisée fut de près de 9 nœuds, et cette vitesse est portée comme ayant été obtenue avec une poussée sur l'arbre de moins d'un tonneau et demi ou 1522 kilogr., tandis que la 21e donne 8 ¼ nœuds, et cette vitesse est attribuée à une poussée sur l'arbre d'environ deux tonneaux ou 2030 kilogr. Il est cependant certain que la plus grande poussée doit donner la plus grande vitesse, à moins qu'il n'y ait des circonstances contraires de vent et de mer, qui, si elles avaient existé, auraient dû être marquées, et quand des influences si opposées influent sur le résultat, il convient de le rejeter. Cependant, bien que les indications du dynamomètre de M. Murray ne doivent pas inspirer de confiance, la colonne dans laquelle est l'estimation de la vitesse qu'eût obtenue le navire, si la puissance motrice eût été de 160 chevaux, est le meilleur guide pour distinguer les qualités relatives des différentes hélices employées.

HÉLICES ESSAYÉES A BORD DE *LA MINX*.

D'après la table des expériences faites à bord de *la Minx* avec des hélices de pas uniforme, de pas croissant dans la direction de l'axe, avec celles ayant un pas croissant du noyau à la circonférence, et un pas croissant en même temps dans la direction de l'axe et dans celle du noyau à la circonférence, on verra que le meilleur résultat a été obtenu le 9 juillet 1847, lorsque l'hélice employée avait un pas uniforme. La plus grande vitesse fut obtenue le 1er juillet 1848, avec une hélice d'un pas croissant dans la direction de l'axe, et le 12 juillet, avec une hélice à pas uniforme; mais ces deux résultats ont été l'un et l'autre un peu inférieurs au premier, relativement à la puissance employée. Dans cette table de même que dans la précédente, il y a désaccord apparent entre les résultats obtenus par l'indicateur et ceux donnés par le dynamomètre. Les deux colonnes de la vitesse du navire, déterminée comme

…ÉS A BORD DU NAVIRE A …

…urse du piston $=0^{m},838$. Puiss…ètre 98,68 à 1.

RECUL de L'HÉLICE. 15.	PUISSANCE TOTALE exercée par la machine dans les cylindres. 16	PUISSANCE MOYENNE développée par l'hélice pour pousser le navire, mesurée par le dynamomètre. 17	VITESSE DE NAVIRE	
pour 100				
32,75	140,36	défec-tueux.		
33,21	157,18	Id		
34,91	154,4	Id.		
41,27	147,17	Id		…e *surface réduite.*
36,78	185,84	Id.		…ffet de la *saleté de la carène depuis cette* …toyer, paraît être 8,028 − 7,787 = 0,242.
AV 22,04 / AR 27,08	156,47	dyna-momètre.		Beau temps. Brise légère.
AV 48,81 / AR 37,8	148,98			…*en renversant l'hélice de Woodcroft.*
noyau 26,9 / circ. 33,76	152,24	»		
noyau 18,49 / circ. 34,79	166,36	»		…llant de la *variation du pas croissant* ; … mesure que l'accroissement s'étend de
noyau 12,35 / circ. 40,39	168,5	»		
38,43	144,2	92,41		…que l'hélice serait essayée de nouveau.
32,16	198,06	120,95		…me jour, il paraît que parmi les hélices à … le meilleur résultat.
41,73	178,25	108,19	[illegible]	
39,23	177,73	189,67	[illegible]	
37,67	188,38	105,4	[illegible]	
noyau 28,72 / circ. 35,4	181,45	103,75	[illegible]	
noyau 20,22 / circ. 37,78	189,11	104,56	[illegible]	
noyau 14,87	[illegible]	[illegible]		…s septembre 1847, est de nouveau em-



si la puissance développée était 160 chevaux et celle de la puissance réelle dans les cylindres pour donner une vitesse de 8 nœuds, sont calculées dans l'hypothèse que la puissance nécessaire à la propulsion varie comme le cube de la vitesse, et ces colonnes constituent, par conséquent, une expression de l'utilisation dans chaque essai particulier. Mais le rapport de l'indicateur au dynamomètre donne aussi une expression de l'utilisation, et ces deux quantités devraient être proportionnelles l'une à l'autre avec les mêmes vitesses. Cependant on verra, en se référant à la table, que, tandis que la puissance nécessaire à produire une vitesse donnée, ou la vitesse résultant d'une force déterminée, calculée d'après la loi ordinaire, restent presque uniformes dans toutes les expériences; le rapport de l'indicateur à la puissance par le dynanomètre augmente au contraire avec la vitesse, ou, avec une puissance mesurée par l'indicateur, il y a moins de force produite sur le dynamomètre lorsque la vitesse du navire augmente. En même temps le recul apparent de l'hélice reste à peu près uniforme; mais, avec une plus grande vitesse, il y a plus de frottement de l'hélice dans l'eau.

HÉLICES ESSAYÉES À BORD DU *PÉLICAN*.

Les expériences du navire à vapeur français *le Pélican* furent faites en 1847 et 1848, et leur principal objet était de déterminer les relations qu'il est convenable d'établir entre le diamètre, le pas, le nombre d'ailes et la longueur d'une hélice propulsive. Une nouvelle série d'expériences sur des hélices d'un plus grand diamètre fut faite à bord du même navire en 1849, et les résultats confirmèrent ceux des premières. Ces diverses opérations furent dirigées par M. Bourgois, lieutenant de vaisseau, et M. Moll, ingénieur de la marine. En 1850, un comité de l'Institut de France, composé de MM. Arago, Dupin, Poncelet, Duperrey et Morin, examina leurs travaux et fit un rapport favorable sur les résultats obtenus.

Le Pélican est un navire de 120 chevaux de force nominale, de 40 mètres de long, $6^m,80$ de large; sa maîtresse section immergée est de 109 ¾ square feet, ou $10^{mq},19$. Le déplacement de la carène pendant les expériences était de 258 tonneaux; son arrière fut disposé de manière à y mettre une hélice aussi grande que possible, celle de $2^m,50$ de diamètre fut la plus grande qu'on pût introduire. Les machines consistaient en deux cylindres oscillants verticaux, avec l'appareil néces-

saire. Le diamètre des cylindres était $1^m,10$ et la longueur de la course $0^m,948$. Les cames de détentes étaient disposées de manière à pouvoir interrompre l'introduction de la vapeur à 0,08, 0,15, 0,30, 0,50, 0,70 et 0,80 de la course du piston. Le maximum de pression pendant les expériences n'a pas dépassé $1^k,053$ par centimètre carré au-dessus de l'atmosphère. Le poids total des machines du *Pélican*, y compris l'eau des chaudières, est de 80 tonneaux. Les diamètres des hélices essayées étaient de $2^m,50$, $2^m,050$ et $1^m,678$ et elles forment ainsi une progression géométrique dont la raison est 1,22.

Afin d'étudier les changements de circonstances de la propulsion, produits par la forme du navire lui-même, par l'influence des vents contraires, et par les autres causes, qui modifient la marche, ou autrement dit la facilité avec laquelle le navire traverse l'eau, on attacha une surface plane à l'avant du navire, de manière à ce qu'en l'abaissant, on retardait la marche autant qu'on le voulait. La vitesse du bâtiment fut déterminée en constatant le temps nécessaire à parcourir une distance de 2033 mètres, convenablement marquée sur le rivage par des jalons : trois observateurs notaient séparément les moments auxquels on dépassait les repères et la moyenne des trois résultats était admise pour la vraie vitesse. En comparant la marche avec le nombre de tours de l'hélice, l'avance du navire pour chaque révolution était facile à déterminer et le rapport de l'excès du pas sur cette avance constitue une quantité, que MM. Bourgois et Moll ont nommée coefficient de recul. Si au lieu de tourner dans un liquide, l'hélice le faisait dans un écrou fixe, le coefficient du recul serait nul ; et si, au contraire, elle était mise en mouvement, pendant que le navire est amarré, il deviendrait égal à 1. De même si un navire, luttant contre un vent contraire très-fort, était poussé en arrière, l'avance pour un tour d'hélice deviendrait négative et le coefficient de reculserait plus grand que l'unité. Il est facile de comprendre que ce coefficient est une quantité qui exerce une influence marquée sur l'utilisation du moteur et MM. Bourgois et Moll, en prenant les vitesses relatives pour les abcisses d'une courbe et les coefficients de recul pour les ordonnées, ont démontré que le coefficient de recul augmente avec les vitesses relatives et par conséquent l'avance diminue de la même manière que cette vitesse. D'un autre côté si nous appelons B^2 la maîtresse section immergée du navire, V' la vitesse relative du navire, ou en d'autres mots la vitesse du navire relativement à l'eau sur laquelle il glisse ; et K un coefficient numérique, dont la

valeur sera plus tard déterminée : la résistance R du corps du navire sera, conformément à la loi de résistance des fluides, exprimée par l'équation $R = KB^2V^2$ et la force consommée par seconde sera représentée par $RV = KB^2V^3$. Si la force développée par la machine et déterminée par l'indicateur est représentée par T ; le rapport de la puissance employée à pousser le navire, à celle développée par la machine sera représenté par l'expression $\frac{KB^2V^3}{T}$. Cette quantité que MM. Bourgois et Moll désignent par le terme *utilisation* est semblable à celle donnée par la formule

$$\frac{\text{vitesse}^3 \times \text{aire de la maîtresse section}}{\text{force mesurée par l'indicateur}},$$

employée dans la table de la manière de fonctionner des navires à vapeur de la marine royale anglaise à la page III de l'appendice, et elle exprime la manière de marcher des navires, qu'elle résulte de la forme de la coque ou de celle du propulseur. Plus cette quantité est grande, mieux le navire marche relativement à sa force motrice : aussi en faisant le tracé des navires à vapeur, le but est de rendre cette quantité aussi grande que possible.

Dans les expériences faites avec l'hélice de 1^m,678 de diamètre, on essaya des pas de 1^m,931, 2^m,360, 2^m,878, 3^m,258 et 4^m,040, et avec chacun de ces pas on se servit d'hélices d'une longueur répondant aux fractions suivantes du pas 0,300, 0,375, 0,450, 0,600 et 0,750; ce qui formait en tout trente séries d'expériences pour ce seul diamètre. Afin de rendre les résultats obtenus plus facilement intelligibles, ils furent portés sur une courbe, dont les pas formèrent les abcisses, et les coefficients de recul les ordonnées. Cette comparaison fut faite, autant pour les essais exécutés, quand la résistance de la coque était augmentée par le plan enfoncé à l'avant, que pour ceux effectués lorsque le navire était dégagé de ce moyen de l'arrêter ; deux séries de courbes furent ainsi obtenues, et montrèrent très-clairement que le coefficient de recul diminuait avec le pas et qu'il décroissait aussi, quand la fraction du pas augmentait. En d'autres termes, il devint évident qu'il y avait moins de recul avec un petit pas qu'avec un grand et qu'il y en avait moins aussi quand l'hélice était suffisamment longue, que lorsqu'elle est très-courte. La quantité de recul n'est pas toutefois la seule chose à considérer en pareil cas, car le surcroît de frottement qu'entraînent les moyens employés pour la diminuer peut plus que compenser l'avantage

obtenu, et dans une autre série de courbes, où les surfaces des courbes d'indicateur furent prises comme les ordonnées, tandis que le recul restait toujours pour les abcisses, il fut trouvé que l'utilisation devenait meilleure à mesure que le pas diminuait ainsi que la fraction du pas. Il y a toutefois une limite naturelle à une telle diminution; et des deux séries de courbes précédentes on en composa une troisième, qui montrait dans quelle circonstance l'utilisation devenait un maximum : ou en d'autres mots, quelles étaient les conditions qui unissaient la plus grande vitesse du navire à la plus petite consommation de charbon. Ces observations seront plus développées dans les citations du mémoire de MM. Bourgois et Moll que je donnerai, et dans les tables des résultats des expériences faites à bord du *Pélican* placées dans l'appendice[1].

Il parait d'après cela, ainsi que d'après d'autres expériences sur l'hélice, que le recul augmente d'autant plus que la surface de la maîtresse section du navire est plus grande que celle du disque de l'hélice. Par conséquent avec une maîtresse section donnée, il est convenable d'accroître, autant que possible, le diamètre de l'hélice. Le recul augmente aussi avec la vitesse de rotation et avec celle qu'il faut imprimer au navire ; car un navire à façons fines et à faible tirant d'eau exige, pour obtenir un grand sillage, autant de poussée sur l'arbre qu'un autre calant beaucoup d'eau pour une petite marche, et par conséquent, un navire léger et rapide, doit avoir une hélice de même dimension que celui gros et lent, si on veut que l'un et l'autre aient la même quantité de recul. Les hélices à deux branches ont plus de recul que celles à quatre ailes de la même longueur dans la direction de l'axe, ayant le même pas et celles de six ailes ont à peu près le même recul que celles n'en ayant que quatre. Par conséquent, sous le rapport du recul, les hélices à quatre branches paraissent préférables à celles à deux, mais sous le rapport de l'utilisation, ces dernières semblent aussi bonnes. Il est probable que le surcroît de recul d'une hélice à deux branches est compensé par une diminution de frottement dans l'eau.

En employant des hélices de diamètres de plus en plus grands, relativement au maître couple immergé, on en a tiré les conséquences suivantes :

[1] Ces tables n'ont point été insérées dans cette traduction, parce qu'elles ont été copiées par l'auteur anglais dans le *Mémorial du génie maritime de* 1850, où il est facile de les consulter, et que la majorité des lecteurs s'intéresse plus aux règles générales déduites par MM. Bourgois et Moll de leurs observations remarquables, qu'aux détails des expériences qui les ont amenées à ces résultats importants.

1° L'utilisation de la puissance motrice de la machine pour pousser le navire est augmentée; 2° Le rapport du pas au diamètre, qui produit un maximum d'effet, va en croissant; 3° Il est convenable d'employer des fractions de plus en plus petites de l'hélice ou du pas total : ainsi à bord du *Pélican*, avec des hélices à quatre branches et de $2^m,50$ ou de $1^m,260$ de diamètre, les résultats ont été dans le rapport de 1 à 0,823. Le rapport le plus avantageux du pas au diamètre trouvé a été de 2,2 dans le cas de la plus grande hélice, et 1,384 dans le cas de la plus petite. Enfin la fraction du pas la plus avantageuse a été de 0,281 dans le cas de la plus grande hélice et 0,450 dans celui de la plus petite. Ces résultats montrent qu'il n'y a pas pour l'hélice de dimensions absolues applicables à tous les navires semblables; mais que sa proportion et sa configuration changent avec la forme du navire, le tirant d'eau et le degré de force de la machine. Pour que des hélices à deux branches donnent les mêmes résultats que celles à quatre, elles doivent avoir un pas plus aigu; les hélices à six branches paraissent agir avec beaucoup d'efficacité dans le cas d'un grand diamètre. D'après ces conditions, un navire étant donné et l'aire de sa maîtresse section connue, la limite du diamètre de son hélice peut être déterminée, dans le cas où il est le plus grand possible, par le rapport du carré du diamètre de l'hélice à l'aire de la maîtresse section. Multipliant ce rapport par le coefficient K de la résistance du navire, que MM. Bourgois et Moll admettent en moyenne de 6 kilogrammes par mètre carré de la maîtresse section, ils obtiennent un produit qu'ils nomment *résistance relative*. Alors, plaçant les résultats de cette quantité pour les abcisses dans le cas du *Pélican*, et prenant successivement pour les ordonnées les fractions des pas d'hélice et les valeurs du rapport du pas au diamètre correspondant au maximum d'effet utile; ils ont construit des courbes, dont ils ont déduit, pour les valeurs également éloignées de la quantité qu'ils ont nommée résistance relative, la fraction du pas qui doit être employée et en même temps la proportion convenable du pas au diamètre, dans le cas d'hélices de deux, de quatre et de six branches. Ils se sont ensuite occupés de classer les différents navires de la marine française, selon le rapport de l'aire de la maîtresse section immergée au carré du diamètre de l'hélice; Ils en ont déduit la valeur de la résistance relative pour ces navires et ils ont montré comment il faut déterminer d'une manière convenable le pas et la fraction du pas à employer dans chaque cas particulier. Pour les navires de guerre, destinés à marcher aussi bien à la voile qu'à la vapeur, ils re-

commandent l'usage des hélices à deux branches, particulièrement à cause de la facilité de les monter et de les démonter; mais dans le cas de navires marchands n'ayant qu'une puissance auxiliaire, ils préfèrent que l'hélice se meuve librement en la rendant indépendante de la machine, à la manière d'un *patent log*. Ils disent qu'une hélice ainsi disposée s'opposerait à peine à la marche sous voiles et qu'elle posséderait des avantages de force et de simplicité, qui ne sauraient être obtenus autrement.

MÉMOIRE SUR LES EXPÉRIENCES FAITES A BORD DU *PÉLICAN*.

Les expériences faites avec diverses hélices à bord du *Pélican* en 1847 et 1848, furent le sujet d'un mémoire de MM. Bourgois et Moll pour dire la manière dont les essais furent dirigés et discuter avec soin la nature des résultats obtenus. Ce mémoire contient 320 pages in-folio; mais comme, dans un document si volumineux, il était difficile de découvrir les faits et les conclusions qui seules sont intéressantes pour le praticien, le ministre de la marine invita les auteurs à rédiger un résumé de leur travail, de manière à mettre entre les mains des ingénieurs des ports les documents les plus importants de leurs expériences. Afin de remplir ces intentions, un nouveau mémoire fut préparé, et les conclusions, qui y furent placées, furent vérifiées en les comparant à celles déduites d'une nouvelle série d'expériences sur les hélices d'un grand diamètre faites en 1849. Le mémoire abrégé est encore très-volumineux; mais il renferme les recherches les plus laborieuses sur l'action de l'hélice et je le considère comme un guide utile et sûr dans la pratique. Comme il n'a pas été imprimé, il est presque inconnu en ce pays (en Angleterre), et il est par conséquent utile d'en récapituler ici les principaux faits et ce qu'il contient de plus propre à éclairer le sujet qui nous occupe.

Les expériences du *Pélican* avaient pour objet de déterminer l'utilisation relative de toutes sortes d'hélices propulsives, sur les navires de toutes dimensions, marchant avec toutes sortes de vitesses et sous des circonstances variées de vent et de mer, afin de déterminer le propulseur le mieux approprié à chaque navire. Un des objets principaux était de fixer la valeur du couple de rotation nécessaire à appliquer sur l'arbre de l'hélice, pour faire faire à cet organe un nombre déterminé de révolutions; en supposant naturellement que le navire fût bien connu,

ainsi que les dimensions et la forme du propulseur. Ou bien encore, ayant d'abord déterminé la loi du couple de rotation en fonction du nombre de révolutions, d'assigner la valeur du couple élémentaire, c'est-à-dire de la puissance employée pendant une seule révolution par unité de temps : et la solution de ce double problème renferme évidemment l'explication de la question dans toute sa généralité.

Par l'expression *utilisation*, on entend le rapport de l'effet utile à la puissance transmise par l'arbre à l'hélice, ou, en d'autres mots, c'est la raison de la puissance de la machine à la résistance à la marche, multipliée par la distance parcourue par le navire. Par conséquent c'est comme le rapport de la puissance calculée par l'indicateur à celle mesurée par le dynamomètre. Ainsi qu'on l'a vu par les expériences faites avec ces deux instruments, la valeur de ce rapport dépend, non-seulement des proportions de l'hélice, mais de la dimension ainsi que de la forme du navire, et aussi de l'action du vent et de la mer. Les proportions de l'hélice consistent dans le diamètre, la forme de la génératrice, le pas variable ou constant, la fraction du pas ou longueur dans le sens de l'axe, et le nombre de bras ou d'ailes dont l'hélice est composée. L'utilisation est donc une fonction très-complexe du diamètre du propulseur, de la forme de la génératrice, de la nature ou de la longueur du pas, de la longueur dans la direction de l'axe, du nombre d'ailes, de la résistance éprouvée par la coque du navire avec différentes vitesses, et de la forme de la partie immergée de l'arrière; enfin, de la vitesse du sillage ou du nombre de révolutions faites dans un temps donné par le propulseur.

Les résultats obtenus par les expériences faites sur *le Pélican*, s'appliquent à tout navire de formes semblables, mais de plus grandes ou de plus petites dimensions; si l'on prend la précaution de faire en sorte, que les vitesses adoptées et comparées les unes aux autres varient comme les racines carrées des dimensions linéaires des navires [1]. Quand les navires n'ont pas de formes semblables, cette loi ne saurait être appliquée, et, en pareil cas, il est nécessaire d'employer un coefficient, comme équivalent à d'autres éléments analogues. Pour déterminer cette quantité il ne sera pas toujours nécessaire d'établir un rapport convenable entre les vitesses de deux navires différents; mais, le plus sou-

[1] La proportionnalité des vitesses de sillage aux racines carrées des dimensions linéaires des bâtiments semblables, a été érigée en principe, pour la première fois, par M. Reech, professeur à l'École spéciale d'application du génie maritime.

vent, il suffira d'admettre entre les dimensions linéaires de leurs hélices respectives un rapport, qui sera égal à la racine carrée de la raison de leurs résistances élémentaires. On entend par résistances élémentaires, celles des deux navires par unité de vitesse, toutes les deux mises en relation avec leurs vitesses respectives, et, pour rendre applicables à toutes sortes de bâtiments, les lois dont l'existence a été confirmée pour *le Pélican*, il est seulement nécessaire que, dans les deux navires, le rapport de la résistance élémentaire de la coque à l'aire du disque de l'hélice, ou au carré de son diamètre, soit le même. Il est évident qne si nn navire est poussé avec une difficulté double, il lui faut une surface de propulsion double, et sa résistance élémentaire est simplement une expression de la facilité ou de la difficulté avec laquelle il est poussé.

Le rapport du carré du diamètre de l'hélice à la résistance élémentaire du navire donne la résistance relative de ce dernier avec l'hélice : c'est une quantité qui joue nn grand rôle dans les recherches suivantes, ct dont il est nécessaire de comprendre la véritable nature. Si un navire, d'une forme donnée et d'un nombre connu de mètres carrés de maîtresse section immergée, doit être poussé dans l'eau avec une vitesse déterminée, il y aura, par mètre carré de la section immergée, une certaine résistance qui pourra être calculée. Un gros navire, entraîné par la même puissance et avec la même vitesse, a une maîtresse section immergée moindre; il présente donc une plus grande résistance par pied carré qu'un autre à façons fines. Par conséquent, si ces différents navires sont poussés avec la même vitesse, avec la même puissance et avec la même hélice, il en résulte que, puisque celle-ci exerce le même effort ou la même poussée dans chaque cas, et qu'elle ne change pas de diamètre, la raison du carré de ce diamètre à l'aire totale de la maîtresse section immergée sera différente pour chacun, et cette raison indique la résistance relative de l'hélice et du navire. La poussée de l'hélice est toujours exactement balancée par la résistance.

La surface immergée du maître couple du *Pélican* a varié, pendant le cours des expériences, entre des limites assez rapprochées, et la valeur moyenne à laquelle toutes les observations ont été ramenées est égale à $10^{mq},20$. Le trou de l'hélice, dans le massif arrière, ne comportait pas une hélice de plus de $2^m,50$. MM. Bonrgois et Moll ont choisi ce diamètre et deux autres plus petits formant, avec $2^m,50$, trois termes d'une progression géométrique ayant pour raison 1,22. Ces trois termes forment la série $1^m,680$, $2^m,050$ et $2^m,500$. A égalité de maîtresse

section immergée, les diverses résistances relatives correspondantes à la série des diamètres $1^m,680$, $2^m,050$ et $2^m,500$, sont exprimées par $K \times \frac{10,20}{(1,68)^2}$, $K \times \frac{10,20}{(1,68)^2 (1,22)^2}$, $K \times \frac{10,20}{(1,68)^2 (1,22)^4}$; K étant la valeur de la résistance de 1 mètre carré de la section transversale immergée, pour l'unité de vitesse 1 mètre par seconde : K est donc rapporté à la vitesse d'expérience supposée la même pour les différents diamètres. D'après ces formules, il est évident que toutes ces résistances relatives sont entre elles comme les nombres suivants : $(1,22)^4$, $(1,22)^2$ et 1; ou comme 2,21533456, 1,4884 et 1,000; ou plus simplement comme 2,215, 1,488 et 1,00. L'emploi d'un plan placé à l'avant du navire, pour retarder à volonté sa marche, a permis d'étendre, avec moins d'exactitude sans doute, les résistances relatives jusqu'à 3,323, valeur répondant à un diamètre imaginaire de l'hélice de 1,372 mètres, supposée combinée avec la simple carène; et, quoique les résultats obtenus avec ce plan retardateur n'aient pas la même autorité, que ceux déduits de navires ayant réellement de plus grosses formes, cependant ils présentent des appréciations assez exactes pour être très-utiles dans la pratique. Les pas essayés ont été de $1^m,935$, $2^m,361$, $2^m,880$, $3^m,513$, $5^m,229$ et $6^m,381$, et ces différents pas ont la raison commune 1,22, comme les diamètres.

L'utilisation étant le rapport de l'effet utile à la quantité de puissance mécanique transmise à l'hélice, et l'effet utile n'étant autre chose que la résistance du navire multipliée par l'espace qu'il parcourt, ou, en d'autres termes, la force d'impulsion mesurée par le dynamomètre, il est facile, quand les puissances de la machine et du dynamomètre sont connues, de dire quelle est l'utilisation, quelle que soit la vitesse du navire. Si nous connaissions avec précision la loi de l'accroissement de résistance que le navire éprouve quand sa vitesse est augmentée, nous serions à même, au moyen de la résistance à une vitesse, de déterminer ce qu'elle serait pour toute autre, et aussi de savoir quel serait l'effet utile avec ce nouveau sillage. Par conséquent, s'il était exact que la résistance augmente comme le carré de la vitesse, il en résulterait qu'une vitesse élémentaire et constante, multipliée par le cube de la plus grande, donnerait l'effet utile avec cette nouvelle marche. Pour des vitesses peu éloignées l'une de l'autre, ce mode de calculer peut être adopté : mais lorsqu'elles ont des différences notables, une telle manière de calculer conduirait à des résultats inexacts, car il est reconnu que la

résistance des navires augmente plus rapidement que le carré de leur vitesse, dans le cas où cette dernière est très-grande. Ainsi, quand le sillage du *Pélican* était augmenté de 6 nœuds à 9 $\frac{1}{2}$ nœuds par heure, ou d'environ $\frac{1}{3}$, la résistance était plus grande, non comme le carré, mais comme la puissance 2,28. Appelant B^2 la section immergée du navire, V sa vitesse, et K la résistance par mètre carré de section immergée à la vitesse V, pour l'unité de vitesse, on ne devra prendre l'expression $KB^2 V^2$, pour représenter la résistance, qu'en admettant que K varie en fonction de la vitesse, suivant la loi approximatrice $K = K' \times V'^{0,28}$, dans laquelle K' est un coefficient constant. Dans les recherches suivantes, il ne sera pas nécessaire d'adopter ce qu'on vient de dire, la formule KB^2V^2 ayant l'avantage d'une plus grande simplicité, et étant suffisamment exacte dans le cas des sillages semblables; mais dans celui de vitesses différentes, il est nécessaire de comprendre que la formule ordinaire ne donne pas des résultats exacts, et qu'il faut alors la corriger d'après la nature de la vitesse.

Si nous admettons que h exprime le pas de l'hélice, ρ le coefficient de recul, et n le nombre de révolutions de l'hélice dans une unité de temps, alors l'expression KB^2V^2 peut évidemment être mise sous la forme $KB^2(1 - \rho)^2 h^2 n^2$, ou sous celle $KB^2 a^2 n^2$; a étant la distance dont le navire avance dans l'eau pour un tour d'hélice. L'aire de la maîtresse section immergée est facile à calculer lorsque le tirant d'eau est connu, et l'avance a, le coefficient de recul ρ, la vitesse du navire dans l'eau, et le nombre de révolutions n, sont toutes des quantités déterminées par l'expérience. Quant au coefficient K, sa valeur pour différents sillages a été fixée, pour *le Pélican*, au moyen d'expériences directes faites dans ce but; mais celle en fonction de la vitesse peut aussi se déduire du recul, ainsi que l'utilisation ou rapport de la puissance mesurée par l'indicateur à celle obtenue par le dynamomètre.

Par l'expression *vitesse absolue du navire*, on entend celle par rapport à la terre, déterminée en divisant la longueur de chaque parcours par le temps qu'il a duré. De la vitesse absolue on déduit la vitesse relative, ou celle par rapport à l'eau, en ajoutant ou retranchant la vitesse du courant; et comme cette vitesse, élevée à la troisième puissance, entre dans la formule qui exprime l'utilisation du propulseur, il est très-important qu'elle soit déterminée avec soin, car toute erreur dans la fixation de cet élément se trouve multipliée dans les opérations suivantes. On a déjà expliqué les précautions prises pour assurer

l'exactitude de la détermination de la vitesse du *Pélican*. La plupart des expériences furent faites sur la rade de Minden, entre la tour de Scée et celle des Brillantes; des lignes de jalons étaient élevés sur la rive gauche de la Loire, pour fixer les distances avec exactitude, et la longueur du parcours était de 1016 ½ mètres, ou le double de cette distance. La marche habituelle des opérations consistait à faire quatre parcours avec toute la force des machines, de manière à donner la plus grande vitesse; quatre parcours avec une seule chaudière, de manière à n'avoir qu'une vitesse réduite ou moyenne; quatre parcours avec une seule chaudière et la vapeur en partie arrêtée par le registre, ou plutôt avec la plus grande détente, de manière à n'obtenir qu'une petite vitesse, et quatre parcours avec une seule chaudière et la machine développant toute la vapeur qu'elle produisait, mais alors on employait un bordage ou plan de $1^m,30$ carré, abaissé dans l'eau à l'avant et fixé en travers de l'étrave de manière à augmenter à volonté la résistance du navire. Les valeurs moyennes des vitesses ainsi obtenues furent, avec la carène dégagée du plan, $9',5$, $7',7$ et $6',5$; et si N est le nombre de coups de piston de la machine pendant le parcours, t la durée du parcours en secondes, et r le rapport des engrenages, le nombre de révolutions n fait par l'hélice dans une seconde sera représenté par la formule $n = \frac{Nr}{t}$. Pour déterminer la vitesse à travers l'eau au moyen de celle relativement au rivage, le navire était alternativement essayé avec et contre le courant; et si a est l'avance de l'hélice dans l'eau, effectuée à chaque révolution, il est clair que la valeur de cette quantité restera invariable, ou à peu près telle, que le navire aille dans le sens du courant on dans la direction inverse, autant qu'il n'y a pas de vent. Mettant alors U, $U+a$ et $U+2a$ pour représenter les vitesses moyennes du courant pendant chaque parcours successif, et n, n' et n'' les révolutions correspondantes de l'hélice par seconde, alors na, $n'a$ et $n''a$ représenteront les vitesses du navire, relativement à l'eau, pendant chaque parcours en question; et si nous désignons la vitesse absolue, ou la vitesse, relativement au terrain, de chaque parcours par v, v', v'', nous aurons $v = na \pm U$, $v' = n'a \pm U \pm a$ et $v'' = n''a \pm U \pm 2a$. Nous trouverons d'après cela que la valeur de a est exprimée par l'équation $a = \frac{v + 2v' + v''}{n + 2n' + n''}$; et lorsque la distance dont l'hélice avance dans l'eau par seconde est connue, il est facile de déterminer la vitesse du navire dans l'eau, par seconde ou par heure,

en multipliant l'avance par le nombre de révolutions de l'hélice faites dans une seconde ou dans une heure.

Ces conclusions ne sont exactes que dans l'hypothèse, où il y a un calme parfait; mais ordinairement les navires sont plus ou moins exposés à l'action du vent, et cette influence ne saurait être annulée dans les expériences, en courant avec le vent tantôt de l'avant et tantôt de l'arrière : d'ailleurs il n'arrive pas souvent que le vent et le courant aient la même direction. MM. Bourgois et Moll firent quelques expériences sur *le Pélican* pour déterminer l'effet des vents sur la marche, et sur le coefficient de recul; et, à l'aide de leurs données, ils ont construit une table qui donne, en fonction de la vitesse, les corrections propres à être appliquées au coefficient de recul, dans le cas de navires marchant à toute vitesse et aidés ou contrariés par des vents de différentes forces.

GRANDE VITESSE.

	VENT DEBOUT OU A DEUX QUARTS.	VENT À QUATRE QUARTS.	VENT À SIX QUARTS.
Jolie brise	0,024	0,018	0,012
Jolie petite brise	0,021	0,015	0,010
Petite brise	0,018	0,014	0,009
Faible brise	0,012	0,009	0,006
Fraîcheur	0,006	0,004	0,003

Lorsque le vent est à six quarts de la route du navire, les corrections sont justes la moitié de celles vent debout ou à deux quarts; et lorsqu'il est à quatre quarts, elles sont les moyennes entre les deux autres. Il aurait été plus utile de donner des corrections propres à être appliquées à chaque vitesse du vent et à chaque mètre de surface qui lui est opposée.

Outre les corrections de l'influence du vent, il en est deux autres relatives à l'immersion et à la vitesse du navire, afin de rendre tous les résultats encore plus faciles à comparer. Le tirant d'eau moyen 2,5 mètres auquel répond une section immergée de 10,2 mètres carrés, ayant été adopté comme l'immersion normale du *Pélican*, pendant les expériences, on a cherché à tenir le navire dans ces conditions.

A mesure qu'un vapeur brûle son charbon, il s'allége et son immersion

diminue, mais dans les expériences du *Pélican*, ce changement était en grande partie compensé en laissant entrer de l'eau dans la cale. Cependant il y avait quelque variation dans le tirant d'eau, mais elle n'excédait pas trois centimètres, et deux expériences avec des immersions différentes, faites le 29 août et le 3 septembre, indiquèrent l'influence que le tirant d'eau avait sur le recul et en fixèrent les limites. Cette influence doit être à peu près la même pour toutes les hélices du même diamètre et une correction de 0,015 par décimètre d'immersion, fut adoptée pour les variations avec les grandes vitesses. Quant à ce qui regarde la différence de tirant d'eau, elle a été généralement de $0^{m},7$ et deux expériences faites le 18 et le 20 novembre, avec le plan résistant et la vitesse moyenne, montrèrent que des variations de 20 centimètres n'avaient pas d'influence appréciable sur le coefficient de recul.

D'après le relevé général des expériences du *Pélican*, il paraît qu'avec toutes sortes d'hélices, la différence avec temps calme, entre les coefficients de recul à 9,5 nœuds et 6,5 n'excède pas 0,03. Par conséquent, une correction de 0,01 par nœud est une approximation voisine de la vérité, ponr les sillages de 9,5 nœuds par heure, vitesse qui est adoptée comme celle normale à toute vapeur de ces expériences : à nn petit nombre d'exceptions près, les observations s'écartent assez peu des moyennes. On a appliqué aux coefficients de recul les corrections dont nous venons de parler; en ce qui concerne la grande vitesse et le plan résistant, ce sont celles relatives au vent, à l'immersion et à la vitesse. Puis, considérant chacune des séries d'hélices du même diamètre, d'un même nombre de branches et d'une même fraction de pas, on a tracé des courbes ayant les pas pour abscisses et les coefficients de recul ponr ordonnées, comme on l'a déjà dit à la page 88. Dans toute opération de cette nature on est forcé de rejeter un certain nombre de points, dont la position semble défectueuse, mais la comparaison du grand nombre de ceux rigoureusement obtenus, au petit nombre dont il a fallu s'écarter, donne à la méthode qu'on a suivie la précision la plus rigoureuse.

Il a été expliqué plus haut que le coefficient de recul est le rapport de la diminution de pas de l'avance de l'hélice au pas entier et réel du propulseur; ou, en d'autres termes, c'est le rapport de la quantité dont le navire avance à celle dont l'hélice l'eût fait, si elle s'était mue dans nn écrou solide. On a aussi expliqué que le résultat des expériences faites sur *le Pélican* est applicable à des navires de dimensions très-diffé-

rentes, mais avec des vitesses variant comme la racine carrée de leurs dimensions linéaires. Le recul est le même dans le cas de tous les navires de formes semblables, ayant des hélices semblables aussi, et une résistance de carène proportionnelle aux carrés des diamètres des différentes hélices. Par hélices semblables on entend celles qui ont le même nombre d'ailes, la même fraction de pas et le même rapport du pas au diamètre; et les carènes, ainsi que les hélices semblables, sont simplement celles construites sur des échelles différentes, mais qui se ressemblent sous tous les autres rapports. Prenant B^2 pour la maîtresse section immergée du navire, et D pour le diamètre de l'hélice; $\frac{B^2}{D^2}$ exprimera le rapport de la maîtresse section immergée au carré du diamètre de l'hélice. Substituant à cette expression la lettre *b*, K*b* représentera le rapport entre la résistance de la carène par unité de vitesse et le carré du diamètre de l'hélice, ou, en d'autres mots, elle représentera la résistance relative dont il a été question à la page 91. Si R désigne la résistance de la carène à la vitesse que l'on considère, et K le coefficient de la résistance de cette carène, nous avons $K = \frac{R}{B^2V^2}$. Mais, d'après les expériences sur la résistance de carène, K varie peu suivant la vitesse, et par conséquent, en posant $Kb = \frac{KB^2}{D^2}$ pour la même hélice, il est clair que la quantité K*b* et le recul qui lui répond varieront et augmenteront avec la vitesse. Cette variation du recul en fonction de la vitesse est à peine appréciable avec les sillages qui ne dépassent pas 7 nœuds, et il paraît probable que la proportion croissante du recul avec de grandes vitesses est due à un accroissement de résistance plus grand que celui supposé par la loi ordinaire. Ainsi, tandis qu'on observe une différence de 0,03 entre les reculs à petite et à grande vitesse, c'est-à-dire avec 6,5 et 9,5 nœuds, on remarque aussi entre les reculs à même vitesse de la simple carène et du plan résistant, des différences qui varient assez peu avec le pas de l'hélice et qui ont une valeur de 0,10 à 0,11. Si on se base sur ce que le plan résistant produit un surcroît de résistance de 0,5 en passant de 6,5 à 9,5 nœuds, on déterminera par interpolation le rapport d'accroissement du coefficient de résistance capable de produire une augmentation de recul de 0,03; on trouve 1,11 pour valeur de ce rapport. De sorte qu'en appelant V′ la grande vitesse du navire et V la petite : R′ et R les résistances respectives de la carène, nous avons $R = KB^2V^2$ et $R' = 1{,}11\,KB^2V'^2$, mais $1{,}11 = \left(\frac{V'}{V}\right)^{0{,}28}$; d'où il résulterait qu'en passant

de la petite vitesse à la grande, la résistance du navire varie comme la puissance 2,28 de la vitesse. Ce résultat du *Pélican* présente un accord satisfaisant avec les expériences faites sur une embarcation ramenée aux vitesses qui correspondent aux différences des dimensions.

En examinant les tables où sont rassemblées les coordonnées des courbes de recul, et en disposant par groupes celles qui ont rapport aux hélices de quatre ailes et du même pas, mais des fractions de pas inégales, ou de différentes longueurs suivant l'axe, il est aisé de voir la direction dans laquelle le recul varie en fonction de la fraction du pas. Les hélices très-courtes occasionnent plus de recul que celles d'une plus grande longueur; et il serait facile d'exprimer la loi de la variation par une courbe ayant la fraction du pas pour abcisses et le recul pour ordonnées. Sans recourir à ce moyen on peut énoncer en quelques mots le sens des variations du recul en fonction de la fraction du pas. Les expériences montrent qu'entre les fractions de 0,30 et de 0,75 du pas ou trois dixièmes et trois quarts du pas complet de l'hélice, il y a une différence de recul de 0,5 ou 0,6 dans le cas d'hélices d'un pas de 4^m,285; cette différence diminue aussi bien avec des hélices d'un pas plus petit, qu'avec celles qui en ont un plus grand. Quand la fraction du pas augmente à partir de 0,30, le recul diminue de quantités de plus en plus faibles, jusqu'à ce qu'on arrive à la fraction de 0,75, où ces variations semblent déjà échapper aux moyens d'observations. Aussi, au delà de cette limite, surtout pour les pas faibles, le recul ne varie plus et l'augmentation de surface occasionne un frottement inutile. D'un autre côté, en diminuant progressivement la fraction du pas au-dessous de 0,30, le recul sera augmenté de plus en plus, et la courbe qui exprime la loi de la variation du recul, en fonction de la fraction du pas, aura par conséquent pour son asymptote la ligne droite dont l'équation serait y ou $\rho = 1$.

La manière dont varie le recul en fonction du pas (avec une longueur d'hélice donnée) est facilement déterminée par les tables des coordonnées, qui ont les pas pour abscisses et les coefficients de recul pour ordonnées. Ici aussi, les courbes qui représentent les lois de variation auront pour asymptote une ligne droite dont l'équation sera $y = 1$; car si le pas était supposé infiniment grand, l'avance serait 0, et le coefficient de recul serait égal à 1. Il paraît très-clairement, par les courbes qui représentent la loi générale, qu'à mesure que le pas est augmenté, il y a un accroissement correspondant de recul, et ce résultat se présente quelle que soit la fraction du pas employée. Ainsi, en

se reportant aux tables, on voit qu'avec l'hélice à quatre branches, le recul augmente à partir de 0,305, pour chaque accroissement du pas, de $1^m,935$ à $6^m,381$. Dans les limites des expériences, les différences de recul paraissent augmenter en progression arithmétique, tandis que les pas croissent en progression géométrique et en prolongent les courbes de manière à y comprendre des pas quatre fois plus grands que le diamètre; cette loi empirique paraît encore juste.

Il ne sera pas difficile de chercher une formule avec l'aide de laquelle on pourra tracer des courbes qui coïncideront, dans les limites des expériences, avec celles qui ont les pas pour abcisses et les coefficients de recul pour ordonnées. Ainsi h étant un des pas expérimentés, M la raison 1,22 de la progression géométrique des pas, G le recul de l'hélice qui a le pas h', Δ la variation de recul de deux pas consécutifs des séries, x le pas qui suit h', et y le recul correspondant, on aurait

$$x = h'M^z \quad \text{et} \quad y = G + \Delta Z;$$

d'où nous posons

$$y = G + \Delta \frac{(lx - lh')}{lM} = G - \frac{\Delta lh'}{lM} + \frac{\Delta lx}{lM}.$$

Si on a, par exemple, 0,45 pour fraction du pas,

$$h' = 1,935, \quad M = 1,22, \quad G = 0,220, \quad \Delta = 0,48,$$

si on substitue ces valeurs et si en même temps on remplace le pas x par De, e étant la raison du pas au diamètre D, la formule devient

$$\rho = 0,1858 + 0,555 \log e;$$

et sous cette forme elle est applicable, dans les limites indiquées plus haut, à toutes les hélices à quatre branches de 0,45 de pas total, et pour lesquelles la résistance relative dn navire est semblable à celle obtenue dans le cas dont on s'occupe. Il serait aisé d'exprimer le recul en fonction du pas, pour toute autre fraction du pas; les différences seraient identiques, et la valeur de e ayant seule changé, le recul deviendrait, avec une fraction de 0,75 du pas, $0,1580 + 0,555 \log e$; avec une fraction de 0,60 du pas, le recul serait $0,1720 + 0,555 \log e$; avec une fraction de 0,375 du pas, ce serait $0,2000 + 0,555 \log e$; et enfin, avec une fraction de 0,300, il deviendrait $0,214 + 0,555 \log. e$.

Les expériences du *Pélican* sur les hélices à deux branches, quoique moins nombreuses que celles sur les propulseurs à quatre ailes, furent cependant suffisantes, pour montrer que leur recul augmente en progres-

sion arithmétique, quand le pas le fait en progression géométrique. Une hélice à deux branches a un peu plus de recul que celle à quatre, lorsque toutes deux ont le diamètre, la longueur et le pas égaux; et l'inégalité s'accroît légèrement avec le pas. Dans le cas d'hélices à deux branches, le recnl sera exprimé en fonction du pas, quand la fraction de ce dernier est 0,45, par $0,2378 - 0,166 + 0,0566 \log e$, ou $0,0718 + 0,0566 \log e$, et quand la fraction du pas est 0,30, le recul sera exprimé, en fonction du pas, par $0,0800 + 0,0566 \log e$. Ces expressions montrent qu'avec des pas plus petits que ceux employés dans les expériences, les hélices à deux ailes auraient moins de recul que celles avec quatre ailes; et la différence peut être attribuée à la résistance moindre que les premières éprouvent à l'arête coupante de leurs ailes. Celles à six branches, essayées sur *le Pélican*, n'étaient pas des types très-favorables, en ce que l'arête conpante étant épaisse éprouvait une résistance considérable à séparer l'eau. Cependant on trouva, en général, qu'il existait entre les hélices à quatre et à six ailes une relation semblable à celle qui se présente entre celles à deux et à quatre branches. On essaya aussi une hélice à deux ailes, qui avait à l'entrée un pas croissant sur un quart de la longueur, les trois autres quarts étant formés avec un pas uniforme; mais avec cette sorte d'hélice le recul fut trouvé aussi grand qu'avec celles employées ordinairement, parce qu'il était mesuré par celui de la partie postérieure. Toutefois, l'utilisation des hélices à pas croissant fut trouvée un peu plus grande que celle des hélices à pas uniforme, c'est-à-dire que le résultat était meilleur, relativement à la force employée.

Il reste maintenant à faire quelques remarques sur les variations de résistance du navire et sur la diminution du diamètre de l'hélice; d'après les considérations développées plus haut, il est évident qu'il suffit de considérer une de ces quantités, puisque des hélices semblables ont le même recnl avec la même résistance relative, et puisqu'un surcroît de résistance dans la carène a la même influence sur le recul qu'une diminution du diamètre de l'hélice. Par conséquent, si nous désirons comparer les expériences faites avec différentes résistances de carène et différents diamètres, mais avec le même rapport du pas au diamètre, nous devons d'abord réduire ces expériences à des séries ayant les mêmes diamètres d'hélice dans chaque cas, ou bien la même résistance de navire, de manière à ce que les résultats puissent directement se comparer. Pour confirmer la loi de la variation du recul, soit

en fonction de la résistance absolue ou du carré du diamètre de l'hélice, ou, ce qui est plus simple, en fonction de la résistance relative du navire, il est nécessaire de choisir des hélices ayant le même nombre d'ailes, la même fraction de pas et le même rapport du pas au diamètre, et de tracer une courbe avec les résistances relatives pour abcisses et les coefficients de recul pour ordonnées. La loi de la variation peut être aussi exprimée par une formule qui sera, par le fait, l'équation de la courbe en question. Si nous prenons pour exemple les hélices à quatre branches, avec une fraction de pas de 0,375, avec le rapport du pas au diamètre égal à 2,55, et avec les diamètres variés de $1^m,68$, $2^m,05$ et $2^m,50$; alors les résistances relatives auront les valeurs respectives de $K \times 3,643$, $K \times 2,446$ et $K \times 1,644$. Les expériences donnèrent pour les coefficients de recul respectifs de ces hélices 0,4304, 0,348 et 0,292, avec une vitesse de $9',5$ nœuds. Ainsi les différences entre les coefficients de recul sont proportionnelles aux différences entre les résistances relatives, et nous pouvons transcrire cette loi empirique par l'équation $\rho = 0,718 + 0,0693 \times b$, qui, dans le cas des hélices dont il est question, exprime le coefficient de recul en termes de la résistance relative et d'une quantité dépendant des proportions de l'hélice.

En cherchant, au moyen de cette équation, à déterminer la résistance relative qui répond à un recul de 0,455, trouvé à bord du *Pélican*, lorsqu'il remorquait le brick *le Fabert*, et qui a été corrigé de l'influence du vent, nous voyons que sa valeur est $K \times 0,400$; et nous trouvons aussi que 2,433 est la raison de la résistance totale des deux navires, avec une vitesse de 7,3 nœuds, à la résistance de la carène du *Pélican* à son tirant d'eau normal et à une vitesse de 9,5 nœuds. La résistance du *Fabert* ayant été trouvée avec un dynamomètre de Régnier, de $72^{kos},25$ par unité de vitesse, nous obtenons facilement la valeur du coefficient de résistance du *Pélican*, pour une vitesse de 7,3, en résolvant l'équation $72^{kos},25 \times K'(11^m,55)^2 = 2,433\,(K' \times 10^m,28)$. Dans ces formules, 11,55 est la section immergée du *Pélican* en mètres carrés, lorsqu'il remorquait *le Fabert*. Par cette équation nous trouvons $K' = 5^{kos},367$, ou environ $5^{kos},4$. Les résultats obtenus avec les hélices de $1^m,68$ de diamètre peuvent être exprimées par l'équation

$$\rho = 0,164 - 0,14 \log m' - 0,14 \log \frac{m'}{m} (a\,0,625 - e\,0,115 \log m') \log e,$$

où e représente le rapport du pas au diamètre; $\frac{m'}{m}$ est la fraction du pas,

et m' le nombre d'ailes. Pour les hélices de 1^m,68 de diamètre, et pour une résistance relative de 3,643, nous avons

$$\rho = 0{,}14 - 0{,}14 \log \frac{m'}{m} + 0{,}555 \log e ;$$

et pour un grand diamètre, ou pour la résistance relative K $\times$ 1,644, l'expression devient

$$\rho = 0{,}163 - 0{,}225 \log \frac{m'}{m} + 0{,}64 \log e.$$

Les résultats obtenus dans les expériences de 1848, avec les hélices de 1^m,68 de diamètre, sont représentés par la formule suivante :

$$\rho = \frac{e^{1.18}\, b^{3.33}}{e^{1.18}\, b^{3.06} + c},$$

où c est une quantité constante dépendante de la fraction du pas et du nombre d'ailes. Les différentes valeurs de cette constante, et aussi les logarithmes de cette valeur, sont montrés dans la table suivante :

	Fraction du pas.	Valeur de c.	Valeur du logarithme de c.
Hélices à deux ailes.......	0,300	9,743	0,988589
	0,450	11,007	1,041659
Hélices à quatre ailes......	0,300	10,714	1,029952
	0,375	11,600	1,064458
	0,450	12,280	1,089198
	0,600	13,027	1,114844
	0,750	13,453	1,128849
Hélices à six ailes.........	0,600	13,042	1,115356

En appliquant la formule $\rho = \frac{e^{1.18}\, b^{3.96}}{e^{1.15}\, b^{0.96} + c}$, à un navire autre que le *Pélican*, il est nécessaire de considérer b comme exprimant, non le rapport précis de la section transversale immergée au carré du diamètre de l'hélice, mais plutôt le rapport de $B'^2 \times \frac{K''}{K}$ au carré du diamètre de l'hélice; B'^2 étant la section immergée, et K'' et K les résistances par mètre carré de la section immergée du nouveau navire et du *Pélican*, pour une vitesse d'nn mètre par seconde, toutes les deux mises en relation avec les vitesses des deux navires. Toutefois, comme le recul est quelquefois négatif, la formule ci-dessus serait modifiée en ajoutant au numérateur un terme négatif comme fonction de la résistance relative, et ce terme aurait une très-petite valeur avec les hélices, dans les proportions ordinaires. La formule logarithmique conduit à cette

conclusion, qu'avec un pas égal à 0, le recul négatif devient infini; et cette formule ne mérite pas de confiance en dehors des limites des expériences.

La force développée par les machines, dans les expériences du *Pélican*, fut mesurée au moyen de l'indicateur, qui, dans les expériences de 1847, fut appliqué seulement au sommet des cylindres; mais dans celles de 1848, cet instrument fut employé anx deux extrémités des cylindres. La manière de calculer la puissance développée par les machines n'était pas la même que celle adoptée généralement en Angleterre; mais les mesures employées n'en sont pas moins faciles à convertir. En Angleterre, l'usage est de prendre en livres anglaises, par pouces carrés, la pression moyenne montrée par la conrbe de l'indicateur, moins une livre et demi, qui est déduite pour la force employée pour vaincre les frottements de la machine elle-même. Alors, multipliant la pression restante par le nombre de pouces carrés de l'aire de deux pistons, par le nombre de pieds parcourus par les pistons dans une minute, et divisant par 33 000, nous avons la mesure de l'effort dynamique de la machine en chevaux-vapeur. Dans les expériences françaises, la pression sur le piston est prise en centimètres de mercure, et un centimètre est 0,39371, ou quelque chose de plus qu'un tiers de pouce anglais; de sorte qn'un centimètre carré est 0,155 d'un pouce carré. Maintenant une colonne de mercnre, d'un pouce carré et d'un pouce de haut, pèse, à 16 degrés, environ 0,491 lbs.; d'où une colonne de mercure d'nn centimètre carré et d'un pouce de haut, pèsera 0,155 de la première, ou 0,0761 lbs.; et une colonne de mercure d'un centimètre carré et d'un centimètre de haut, pèsera 0,39371 de cette quantité, ou 0,02996 lbs. Un kilogramme est 2,2055 lbs. avoir du poids; de sorte qu'un centimètre cube de mercure pèsera 0,01358 kilogrammes. Un mètre linéaire contient 100 centimètres, par conséquent un mètre carré contient 10 000 centimètres carrés; et 10 000 fois 0,01358 kilogrammes, ou 135,8 kilogrammes, sera la pression exercée, sur une surface d'un mètre, par une colonne de mercure haute d'un centimètre. Maintenant si nous appelons D le diamètre du cylindre en mètres, C la course du piston en mètrea, N le nombre de coups de piston par minute, et p la pression moyenne exercée sur le piston en centimètres de mercure; alors, en se rappelant qn'il y a deux cylindres, et que la course du piston doit être comptée dans les deux sens, la puissance développée, mesurée en kilogrammes élevés d'un mètre de hauteur en une

minute, sera représentée par $135,8 \times 2D^2 \times 0,7854 \times 2C \times N \times p$, ou, en d'autres mots, $426,6\,D^2CNp$. La puissance exercée par seconde sera le $\frac{1}{60}$ de cette dernière, ou $7,11\,D^2CNp$; et MM. Bourgois et Moll ont adopté l'expression $7,117\,D^2CNp$ pour représenter la puissance réelle exercée par la machine, par seconde et en kilogrammètres, ou en kilogrammes élevés d'un mètre par seconde. Toutefois, il faut opérer quelques déductions de ce résultat, pour les frottements de la machine, avant qu'elle puisse exprimer la puissance transmise à l'hélice, et il est clair que le frottement consiste en deux parties, dont l'une est presque constante, quelle que soit la pression sur le piston, tandis que l'autre varie avec la quantité d'effort transmise aux renvois de mouvement. Pour surmonter le frottement constant de la machine, MM. Bourgois et Moll, considérèrent d'après quelques expériences, que 5 centimètres de mercure, ou 0,9666 lbs. par pouce carré, peuvent être admis comme une déduction suffisante pour ce genre de frottement; tandis que celui qui varie avec l'effort est désigné par le coefficient A. La puissance réelle employée à tourner l'arbre de l'hélice sera exprimée par la formule $A \times 7,117\,D^2CN(p-5)$, et cette quantité sera toujours proportionnelle à cette autre $7,117\,D^2CN(p-5)$; de sorte que la dernière expression servira de mesure à la puissance transmise à l'hélice.

Cela donne une expression de la puissance développée par la machine. Celle utilisée par le navire, ou, en d'autres termes, la puissance dynamométrique, est approximativement représentée par l'expression $KB^2V^3 = KB^2a^3n^3 = KB^2(1-\rho)^3h^3n^3$; K étant la résistance en kilogrammes, par mètre carré, de la section immergée du navire, à la vitesse d'un mètre par seconde; B^2 la maîtresse section immergée du navire, en mètres carrés; V la vitesse à travers l'eau, en mètres, par seconde; a l'avance de l'hélice dans l'eau par révolution; n le nombre de révolutions de l'hélice par seconde; h le pas, et ρ le recul de l'hélice. Par conséquent, l'utilisation u, ou, en d'autres termes, le rapport de la puissance, par le dynamomètre, à celle par l'indicateur, sera représentée par l'expression

$$u = \frac{KB^2V^3}{7,117\,CN(p-5)} = \frac{KB^2a^3n^3}{7,117\,CN(p-5)} = \frac{KB^2(1-\rho)^3h^3n^3}{7,117\,D^2CN(p-5)},$$

et appelant r le rapport des engrenages placés entre la machine et l'arbre de l'hélice, nous pouvons mettre l'utilisation, ou rapport de la

force par le dynamomètre à celle par l'indicateur, sous les formes suivantes :

$$u = \frac{KB^2r^2}{7,117\,D^2C \times 60^2} \times \frac{N^2}{(p-5)} \times a^2 \qquad [1],$$

$$u = \frac{KB^2}{7,117\,D^2C \times 60} \times \frac{n^2}{\left(\frac{p-5}{r}\right)} \times a^2 \qquad [2],$$

$$u = \frac{KB^2}{7,117\,D^2C \times 60} \times \frac{1}{\frac{\left(\frac{p-5}{r}\right)}{n^2}} \times a^2 \qquad [3].$$

L'utilisation de toutes les hélices essayées à bord du *Pélican* a été calculée par MM. Bourgois et Moll à l'aide de ces formules et surtout de celle [1]. Quand la machine est directement articulée à l'arbre de l'hélice, l'effet est évidemment le même que si les roues d'engrenage avaient le même diamètre. Le rapport des engrenages serait, en pareil cas, exprimé par la fraction $\frac{1}{1}$ qui est la même chose que 1 : de la sorte, le rapport de l'engrenage disparaît naturellement de la formule, puisque la multiplication ou la division des autres quantités par 1 n'altère en rien leur valeur.

Toutes les quantités qui entrent dans la composition de ces formules ont été déduites d'expériences directes, excepté celle exprimée par K, et comme cette dernière présente quelque incertitude, autant qu'on se rapporte aux expériences du *Pélican*, il sera utile de rechercher les valeurs des autres quantités comprises dans les formules indépendamment de K de manière à ce qu'elles continuent à être applicables, même si une autre valeur de K est finalement adoptée. Maintenant, si comme il le paraît par la formule [1]

$$u = \frac{KB^2r^2}{7,117D^2C \times 60^2} \times \frac{N^2}{(p-5)} \times a^2;$$

alors

$$\frac{u}{K} = \frac{B^2r^2}{7,117D^2C \times 60^2} \times \frac{N^2}{(p-5)} \times a^2;$$

et mettant u' pour $\frac{u}{K}$ nous avons

$$u' = \frac{B^2r^2}{7,117D^2C \times 60^2} \times \frac{N^2}{p-5} \times a^2,$$

ou par la formule [3]

$$u' = \frac{B^2}{7,117D^2C \times 60} \times \frac{\frac{\left(\frac{1}{p-5}\right)}{r}}{n^2} \times a^2.$$

Maintenant nous rappellerons qu'il a été déjà observé que $p-5$ avec l'addition d'un facteur constant, exprime en centimètres de mercure, la pression moyenne exercée sur le piston et qu'on peut admettre par conséquent, $p-5$ pour représenter la pression moyenne effective. Si l'hélice tourne deux, trois ou tel nombre de fois plus vite que la machine, il est clair qu'en réunissant directement la machine à l'arbre, une demie, un tiers ou telle autre fraction de la pression correspondant à la nouvelle vitesse du piston, produira la même puissance sur l'arbre de l'hélice. Si r est le rapport des roues d'engrenage, il en résulte qu'en négligeant le facteur susmentionné, la fraction $\frac{p-5}{r}$ représentera soit la pression réduite, qui, si elle était appliquée directement à l'arbre, suffirait pour donner la même puissance, soit la force diminuée pour produire une révolution de l'hélice comparée à celle nécessaire pour faire tourner une fois la machine. Par conséquent, la fraction $\frac{\frac{p-5}{r}}{n^2}$ en négligeant encore le facteur constant, représentera la pression effective agissant sur l'arbre de l'hélice, divisé par le carré du nombre de révolutions de l'hélice. Il a été trouvé sur les navires à roues, que la pression dans les cylindres accroît comme le carré du nombre de révolutions, en supposant naturellement que l'immersion reste invariable et que le navire ne soit pas influencé par le vent. Les expériences du *Pélican* montrent que cette loi existe aussi dans le cas des navires à hélice, et il suit de là que la fraction $\frac{\left(\frac{p-5}{r}\right)}{n^2}$ exprimera la pression nécessairement employée dans les cylindres directement articulés, pour faire faire une révolution par seconde à l'arbre; mais le résultat doit être corrigé par un facteur constant dont la valeur dépend de la dimension de l'hélice et de la grandeur ainsi que des formes du navire. Il est temps cependant de donner les citations du mémoire de MM. Bourgois et Moll; mais, comme il demande à être réduit, je ne puis présenter dans tous les cas une traduction littérale, et j'abrégerai autant que possible sans trop obscurcir le sens.

Rotation élémentaire. La valeur abstraite de la raison abstraite $\frac{\left(\frac{p-5}{r}\right)}{n^2}$ que pour plus de simplicité nous appellerons désormais P_e, exprime, à l'exception d'un facteur constant (qui dépend seulement de la proportion

de l'hélice ainsi que des formes et des dimensions du navire), la pression qui doit être produite dans les cylindres, qnand ils sont directement articulés à l'arbre de l'hélice pour prodnire une révolution par seconde. Pour ce qui regarde la rotation élémentaire, capable de produire la vitesse de révolution d'un tour de l hélice par secoude, et que nous désignerons par C_e, elle serait déterminée par la relation $C_e = A \times 1{,}0330 \times \frac{D^2C}{2 \times 76} \times P_e$: ou mettant $A_1 = A \times \left(\frac{1{,}0330}{2 \times 76}\right)$, alors $C_e = A_1 D^2 C P_e$: le kilogramme et le mètre étant pris pour mesures des forces, et A étant le coefficient général de la réduction de puissance de la machine, comme on l'a expliqué plus haut. Maintenant il est facile de voir que la résolution complète du problème repose en substance sur la détermination des valeurs des seconds membres des équations $u = Ku'$, et $C_e = A_1 D^2 C P_e$, et principalement dans les déterminations des valeurs de $u' = \frac{B^2}{7{,}117 D^2 C \times 60} \times \frac{1}{P_e} \times a^3$ et $P_e = \left(\frac{\frac{p-5}{r}}{n^2}\right)$. Les valeurs précises de K et de A, quoique intéressantes à déterminer, sont d'une importance moindre que la fixation des valeurs de u et de C_e, et, sur *le Pélican*, les éléments d'où furent déduites les valeurs de u et de C_e, ne changeaient pas dans les diverses expériences, de sorte que les résultats relatifs doivent être corrects, même si nous supposons que les valeurs absolues sont nn peu incertaines.

Quantités inconnues du problème. Outre les deux principales quantités inconnues u' et P_e, nous nous sommes aidés d'une quantité inconnue auxiliaire, dont l'intervention, si elle n'est pas indispensable, est du moins d'une grande utilité pour faciliter les calculs. Le coefficient de recul a été déjà exprimé par ρ, et la combinaison de ρ et de P_e conduit immédiatement à la valeur de u', de sorte que si nous découvrons la formule pratique et rationnelle, ou, à son défaut, si nous traçons une série de courbes pour exprimer ρ et P_e, en fonction des variables définies dont ces quantités dépendent, nous aurons découvert la loi d'utilisation, et par conséquent, nous serons à même de déterminer les circonstances qui portent l'utilisation au maximum.

Résumé général des résultats obtenus. Il est évident, en examinant les tables, que les valeurs de l'expression $u = Ku'$ ou du coefficient d'utilisation u' diminuent à mesure que la vitesse augmente. Cela est inévitable à cause de l'accroissement du coefficient de résistance K, dans un rapport plus grand que le carré de la vitesse; car avec un surcroît de ré-

sistance, il y a un plus grand recul et par conséquent une plus petite utilisation. Cet accroissement de résistance dans le plus grand rapport que le carré de la vitesse, peut être attribué à la différence du niveau de l'eau entre l'avant et l'arrière, qui oppose à la marche une pression hydrostatique. Si notre attention est tournée sur les valeurs de P, avec les trois différentes vitesses auxquelles chaque hélice a été essayée, nous tronverons que ces valeurs restent constantes dans tous les cas où l'expérience a été faite avec du calme. Naturellement le vent diminuera ou augmentera la résistance du navire, suivant que sa direction sera favorable ou contraire, et cet effet sera plus sensible avec une faible vitesse.

COURBES DES COEFFICIENTS DE RECUL ET D'UTILISATION.

Envisageant la qnestion des valeurs des coefficients de recul et d'utilisation, nous avons groupé dans une épure les résultats définitifs de nos études sur le petit diamètre $1^m,68$, en deux faisceaux de courbes, l'un pour la simple carène, l'antre ponr le plan résistant. Elles ont toutes pour abcisses les pas et pour les hélices à quatre ailes, trois courbes ont été tracées pour chacune des fractions de pas 0,30; 0,375; 0,45; 0,60 et 0,75. Les ordonnées de l'une représentent les ooefficients de recul corrigés des différentes influences qu'il était permis d'apprécier : les ordonnées d'une deuxième représentent les valeurs de $\frac{\left(\frac{p-5}{r}\right)}{n^2}$; et celles d'nne troisième série représentent les valeurs de l'utilisation déjà désignée par u'. Cette dernière courbe est naturellement le produit de la combinaison des deux autres. Le même mode a été adopté pour les hélices à deux ailes, mais senlement avec des fractions de pas de 0,30 et 0,45. Les éléments des courbes, qui ont rapport à la carène simple, ont été ramenés à la vitesse de 9',5, de préférence à la petite ou à la moyenne, afin de diminner autant que possible les influences du vent et des irrégularités des conrants. Les maximum d'utilisation, dans le cas de la carène simple, qui répondent anx différentes fractions du pas avec les hélices de quatre et de deux ailes, sont portés sur les tableaux snivants :

HÉLICES A QUATRE AILES, DIAMÈTRE 1,680 MÈTRE.

	PAS EN MÈTRES.	FRACTION DU PAS.	RAPPORT DU PAS au diamètre.	UTILISATION.
Carène simple.........	2,747	0,300	1,035	K × 0,07495
	2,928	0,375	1,743	K × 0,07485
	3,095	0,450	1,842	K × 0,07465
	3,335	0,600	1,985	K × 0,07405
	3,473	0,750	2,067	K × 0,07350

HÉLICES A DEUX AILES, DIAMÈTRE 1,680 MÈTRE.

	PAS EN MÈTRES.	FRACTION DU PAS	RAPPORT DU PAS au diamètre.	UTILISATION.
Carène simple.........	2,553	0,300	1,520	K × 0,07500
	2,838	0,450	1,689	K × 0,07690

Il paraîtrait, d'après ces chiffres, que les hélices à deux ailes ont une plus grande utilisation que celles à quatre ailes; mais lorsque les expériences des premières ont été faites, la machine fonctionnait avec un peu moins de frottement que pendant celles exécutées avec les secondes. Il convient donc d'admettre que les deux sortes d'hélice ont la même utilisation, mais que celles à deux ailes doivent avoir un pas un peu plus court.

Si l'on mène, parallèlement à l'axe des abscisses ou des pas, une droite qui en soit distante d'une quantité égale aux 0,97 de l'ordonnée, qui donne le maximum d'utilisation dans le cas d'hélices à quatre et à deux ailes, autant pour le cas du plan résistant que pour celui de la carène simple, il est clair que les intersections de cette ligne droite, avec les courbes d'utilisation pour chaque fraction du pas, répondront à autant de solutions également bonnes du problème. Chaque courbe d'utilisation qui s'élève assez haut pour rencontrer la ligne droite dont nous venons de parler, fournira deux intersections, et conséquemment deux valeurs pour chaque fraction de pas intercalée entre celles des expériences. On est ainsi conduit à deux séries de solutions également satisfaisantes : l'une comportant des pas plus raccourcis, l'autre des pas

plus allongés. Voici les proportions et les coefficients de recul des hélices de chaque série :

HÉLICES A QUATRE AILES, DIAMÈTRE 1,680 MÈTRE.

CARÈNE SIMPLE.	PAS EN MÈTRES.	RAPPORT DU PAS au diamètre.	FRACTION DU PAS	RECUL.
1re série. Pas raccourcis.	1,843	1,097	0,300	0,2351
	2,065	1,229	0,375	0,2485
	2,398	1,427	0,450	0,2710
	2,735	1,628	0,600	0,2865
	2,988	1,779	0,750	0,2960
2e série. Pas allongés...	3,400	2,024	0,300	0,3885
	3,523	2,097	0,375	0,3640
	3,625	2,158	0,450	0,3735
	3,745	2,229	0,600	0,3630
	3,795	2,259	0,750	0,3550

HÉLICES A DEUX AILES, DIAMÈTRE 1,680 MÈTRE.

CARÈNE SIMPLE.	PAS EN MÈTRES	RAPPORT DU PAS au diamètre.	FRACTION DU PAS	RECUL.
1re série. Pas raccourcis	2,155	1,283	0,300	0,2905
	1,970	1,173	0,450	0,2445
2e série. Pas allongés...	2,795	1,664	0,300	0,3575
	3,435	2,045	0,450	0,3825

Les chiffres de ces tableaux montrent qu'avec les mêmes fractions du pas et la même résistance relative, le rapport du pas au diamètre doit augmenter lorsqu'on passe d'une hélice à deux ailes à celle à quatre ailes; et cette règle existe aussi en passant de l'hélice à quatre ailes à celle à six ailes. Il paraît, en outre, d'après les résultats présentés par des diamètres différents, que si l'utilisation pratique de l'hélice de 1m,68 de diamètre est exprimée par $K \times 0,0727$, on peut, sans errenr sensible, fixer l'utilisation de l'hélice de 2m,5 de diamètre à $K \times 0,0320$, qui correspond à nne utilisation supérieure de 12,8 pour 100, dans le cas d'une grande hélice. Dans celui de l'hélice de 2m,05 de diamètre, l'utilisation peut être représentée par $K \times 0,0770$; et chaque hélice aura deux pas qui donneront la même utilisatiou, de 3 pour 100

moindre que l'utilisation maximum. Dans le cas d'hélices de quatre ailes, et du diamètre de $2^{m},5$, cette mesure d'utilisation paraît être également obtenue avec une hélice ayant un pas de $5^{m},229$, un rapport du pas au diamètre 2,091, une fraction du pas 0,300, et aussi avec un pas de $6^{m},381$, rapport du pas au diamètre 2,552 et fraction du pas 0,450. Il nous paraît très-probable que l'hélice de ce diamètre, qui réaliserait le maximum maximorum d'utilisation, aurait un pas intermédiaire entre ces deux, mais approchant plus de $5^{m},229$ que de $6^{m},381$, et une fraction du pas un peu moindre de 0,300.

INFLUENCE FAVORABLE D'UNE DIRECTRICE COURBE OU PAS CROISSANT.

Une hélice ordinaire, d'un pas uniforme, est engendrée en tournant un plan incliné sur un cylindre; et, pour en faire le moule, un plan incliné courbé, suivant la circonférence de l'hélice, sert à diriger la planche à trousser, par laquelle la forme de toute la surface est déterminée. Ce plan incliné s'appelle *la directrice;* et si, au lieu d'une ligne droite, c'est nne portion d'une courbe qui s'élève, l'hélice aura un pas croissant. Nous pensons qu'on peut fixer l'avantage approché de la directrice courbe à environ 5 pour 100. Maintenant si l'on groupe ensemble les bonnes utilisations pratiques et les maxima maximorum, tant pour une directrice droite que pour la directrice courbe correspondante aux différents diamètres d'hélice $1^{m},680$, $2^{m},050$ et $2^{m},500$, et avec la maîtresse section immergée 10,20 mètres carrés, on formera les tableaux suivants :

	DIAMÈTRE des hélices en mètres.	Bonnes utilisations pratiques, c'est-à-dire de 3 p. 100 inférieures aux maxima maximorum.	UTILISATIONS maxima maximorum.
Directrice droite..................	1,680	K × 0,07270	K × 0,07495
	2,050	K × 0,07700	K × 0,07938
	2,500	K × 0,08200	K × 0,08454
Directrice courbe..............	1,680	K × 0,07633	K × 0,07870
	2,050	K × 0,08185	K × 0,08335
	2,500	K × 0,08640	K × 0,08877

Si l'on désire se former une idée de l'ntilisation des divers diamètres, relativement à la puissance produite dans les cylindres, à raison d'une

pression utile proportionnelle à $p-5$, il suffira de substituer à K sa valeur pour la vitesse de 9,5 nœuds, laquelle peut être évaluée à 6 kilogrammes, et en mettant $K=6$, on est amené aux résultats suivants :

	DIAMÈTRE des hélices en mètres.	Bonnes utilisations pratiques, c'est-à-dire de 3 p. 100 inférieures aux maxima maximorum.	UTILISATIONS maxima maximorum.
Directrice droite...............	1,680	0,436	0,450
	2,050	0,462	0,476
	2,500	0,492	0,507
Directrice courbe..............	1,680	0,458	0,472
	2,050	0,491	0,500
	2,500	0,517	0,553

Enfin, si l'on cherche à déterminer la puissance réellement employée par le propulseur lui-même, dégagée des déductions pour la force dépensée à vaincre les frottements de la machine, il est nécessaire d'assigner une valeur numérique au coefficient A, dont on a déjà parlé comme entrant dans la composition de la pression effective $A(p-5)$. Des expériences récentes autorisent à conclure que A n'est qu'un peu plus petit que 0,8, et il suffira de diviser par cette quantité les chiffres des deux dernières colonnes des tables précédentes, pour arriver au résultat désiré. On établira ainsi le tableau corrélatif suivant :

	DIAMETRES.	Bonnes utilisations pratiques, c'est-à-dire de 3 p. 100 inférieures aux maxima maximorum.	UTILISATIONS maxima maximorum.
Directrice droite...............	1,680	0,545	0,562
	2,050	0,578	0,595
	2,500	0,615	0,634
Directrice courbe..............	1,680	0,572	0,590
	2,050	0,614	0,625
	2,500	0,646	0,666

La conclusion générale, déduite de ces comparaisons, sera qu'avec les plus grands diamètres usités, tels que $2^m,500$, ou avec les plus petites résistances relatives, environ les deux tiers de la puissance directement appliquée à l'hélice sont utilisés pour la propulsion du navire, c'est-à-dire que la puissance mesurée par le dynamomètre sera environ les

deux tiers de la puissance effective de la machine : tandis qu'avec les plus petits diamètres, tels que $1^m,372$, ou les plus grandes résistances relatives, 0,55 de la force appliquée à l'arbre de l'hélice seront utilisés à la propulsion : ou, en d'autres mots, la force mesurée par le dynamomètre sera, dans un tel cas, environ la moitié de la puissance de la machine. Le rapport de ces deux utilisations étant égal à 1,28, et la racine cubique de 1,28 étant à très-peu près 1,02, on en tirera cette conséquence, qu'à égalité de travail dépensé par la machine, tel bâtiment qui atteindrait 11 nœuds de vitesse, avec un petit diamètre (celui qui répondrait à $1^m,872$ du *Pélican*), réalisera sensiblement 12 nœuds avec un grand diamètre de $2^m,500$. C'est une manière palpable d'exprimer la supériorité du grand diamètre.

VALEUR DU COUPLE ÉLÉMENTAIRE DE ROTATION.

La discussion de l'utilisation des propulseurs héliçoïdes ne serait pas complète si nous n'entrions pas dans quelques détails sur les lois du couple élémentaire de rotation, précédemment désigné par C_e. Il est évident que le couple C_e dépend du nombre d'ailes, et qu'à égal nombre d'ailes il doit croître avec la résistance, ainsi qu'avec le diamètre, la fraction de pas et le pas. En comparant les valeurs de C_e prises dans les expériences, ou, ce qui revient au même, les valeurs que P prend à la vitesse de 9,5 nœuds avec la carène simple, et 6,5 avec le plan résistant, on verra que C_e n'augmente pas beaucoup plus que 12,5 pour 100, avec une différence de 50 pour 100 dans la résistance du navire. Un accroissement dans la résistance a, pour résultat le plus apparent, une augmentation de recul. Le couple élémentaire de rotation, ou, en d'autres termes, la puissance nécessaire pour produire une révolution par seconde, ne varie que peu avec les changements de résistance, et par suite il n'y a pas une grande différence dans le nombre des révolutions de l'hélice. Dans le cas d'un navire semblable au *Pélican*, tant pour le corps du bâtiment que pour l'hélice, mais d'une dimension plus grande ou plus petite, et où les vitesses prises pour comparaisons sont comme les racines carrées des dimensions linéaires des bâtiments respectifs, la valeur du couple élémentaire de rotation variera comme la puissance cinquième des dimensions linéaires de la carène ou de l'hélice. Cette relation sera également applicable quand les formes des navires ne sont pas semblables, pourvu que les dimensions linéaires des

hélices soient, l'une par rapport à l'autre, comme les racines carrées des résistances totales par unité de vitesse, et le couple élémentaire variera dans un tel cas, comme la puissance cinquième de l'une des dimensions linéaires de l'hélice.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

Non-seulement l'utilisation d'une hélice augmente avec son diamètre, ou plutôt quand la résistance relative diminue, mais le rapport du pas au diamètre, et les fractions correspondantes du pas varient avec la résistance relative : le premier diminne quand celle-ci augmente, et la fraction du pas suit nne marche inverse. Les éléments qui concourent à réaliser les utilisations maxima maximorum, dans le cas du *Pélican*, sont montrés sur la table suivante :

HÉLICES A QUATRE AILES, DIRECTRICE DROITE OU PAS UNIFORME.

DIAMÈTRES en mètres.	PAS en mètres.	RAPPORT du pas au diamètre.	FRACTION du pas.	RÉSISTANCES relatives.	UTILISATIONS maxima maximorum.	RAPPORT de l'utilisation.	
1,372	1,858	1,354	0,450	K×5,425	0,06260	1,000	0,823
1,680	2,827	1,683	0,360	K×3,615	0,07500	1,077	0,887
2,050	3,895	1,950	0,310	K×2,429	0,07950	1,142	0,940
2,500	5,500	2,200	0,284	K×1,632	0,08460	1,215	1,000

Les relations montrées par cette table sont indépendantes des valeurs absolues du dismètre et de l'hélice, inscrites dans la première et la deuxième colonne, c'est-à-dire que les mêmes utilisations maxima maximorum seront obtenues, autant que le propulsenr et le navire satisferont aux conditions insérées dans les troisième, quatrième et cinquième colonnes. Il est utile de répéter que la résistance élémentaire K est celle éprouvée par un mètre carré de la maîtresse section de la carène à la vitesse de 1 nœud rapportée à 9,5 nœuds, et la valeur de cette résistance, ou le poids qui la contrebalancerait, est probablement 6 kilogrammes, dans le cas du *Pélican*. La fraction du pas varie en raison inverse du rapport du pas au diamètre; d'où il suit que la longueur de l'hélice, dans la direction de l'axe, varie en proportion de son diamètre, et qu'avec le même diamètre, mais une résistance relative variable,

la longueur de l'hélice, dans la direction de l'axe, restera toujours à environ 0,15 du diamètre. Il paraît que les hélices à quatre ailes doivent avoir des pas d'un quart plus grands que celles à deux ailes, et les hélices à six ailes des pas d'environ un quart plus grands que celles à quatre; mais celles à six ailes ont un surcroît de trois quarts dans la fraction du pas. Si elles ont un grand diamètre et un long pas, elles paraissent avoir une plus grande utilisation que celles à quatre ailes; mais ce résultat est renversé si le pas est réduit, ou le diamètre diminué. La résistance directe, occasionnée par les arêtes coupantes, est plus grande dans le cas des ailes nombreuses, et cette influence est plus sensible quand le recul est petit. La table suivante montre les proportions des hélices qui donneront le maximum d'utilisation, pour des navires de différentes sortes, avec des hélices de deux, quatre ou six ailes.

TABLE DES PROPORTIONS CONVENABLES DES HÉLICES PROPULSIVES.

CLASSE DES NAVIRES A HÉLICES.	Catégories par résistances relatives.	HÉLICES A DEUX AILES		HÉLICES A QUATRE AILES		HÉLICES A SIX AILES.	
		Rapport du pas au diamètre.	Fraction du pas.	Rapport du pas au diamètre.	Fraction du pas.	Rapport du pas au diamètre.	Fraction du pas.
	K×5,5	1,006	0,454	1,342	0,454	1,677	0,794
	K×5,0	1,069	0,428	1,425	0,428	1,771	0,749
	K×4,5	1,135	0,402	1,543	0,402	1,894	0,703
Vaisseaux mixtes.....	K×4,0	1,205	0,378	1,607	0,378	2,009	0,664
Frégates mixtes......	K×3,5	1,279	0,355	1,705	0,355	2,134	0,624
Vaisseaux à grande vitesse..........	K×3,0	1,357	0,334	1,810	0,334	2,262	0,585
Frégates à grande vitesse..........	K×2,5	1,450	0,313	1,933	0,313	2,446	0,548
Corvettes à grande vitesse..........	K×2,0	1,560	0,294	2,080	0,294	2,600	0,515
Avisos à grande vitesse.	K×1,5	1,682	0,275	2,243	0,275	2,804	0,484

EXEMPLE DES CALCULS DES ÉLÉMENTS D'UN NAVIRE A HÉLICE.

D'après les résultats des expériences faites sur *le Pélican*, il ne sera pas difficile de déterminer les proportions convenables pour tout autre navire à hélice L, devant avoir la vitesse V′, ayant une maîtresse section immergée B'^2 et une résistance de carène $K''B'V'^2$. Comme

l'utilisation augmente à mesure que la résistance relative diminue, le diamètre d' de l'hélice du navire L sera pris aussi grand que le tirant d'eau le permettra. A ce diamètre d' ainsi fixé correspondra une résistance relative exprimée par $\frac{K''B'^2}{d'^2}$, et si le propulsenr est susceptible d'être élevé dans un puits, on choisira une hélice à deux ailes; mais si cette condition n'est pas imposée, la préférence sera donnée à une hélice de quatro ou de six ailes, selon qu'on attachera plus d'importance à la légèreté de l'appareil propulseur, ou à une diminution de sa vitesse de révolution.

La résistance relative étant le rapport du carré du diamètre de l'hélice à l'aire de la maîtresse section immergée du navire, il est clair que puisque ces deux quantités sont connues, la résistance relative l'est aussi; et dès que le nombre des ailes du propulseur sera connu, il deviendra aisé de déterminer le rapport convenable du pas au diamètre, ainsi que la fraction du pas, soit à l'aide des tables précédentes, soit par la méthode suivante, d'après laquelle ces tables elles-mêmes ont été construites. On détermine d'abord quel diamètre d il faudrait donner à l'hélice du *Pélican* pour que sa résistanee relative devînt égale à celle du navire L; dans ce but il suffira de poser $\frac{KB^2}{d^2} = \frac{K''B'^2}{d'^2}$. Les deux navires seront ainsi ramenés fictivement à un cas équivalent à celui de la similitude, et la question se réduira à déterminer, pour l'hélice du *Pélican* ayant un diamètre d, les valeurs les plus convenables du pas au diamètre, et de la fraction du pas : ces deux valeurs seront précisément celles qui devront être adoptées pour l'hélice du bâtiment L. La détermination des proportions de l'hélice du *Pélican* nécessitera, du reste le plus souvent, des interpolations arithmétiques ou graphiques, du même ordre que celles par lesquelles nous avons dû passer pour établir les tableaux précités. Toutes les proportions de l'hélice du navire L étant connues, il s'agira de déterminer la puissance motrice qu'il faudrait placer à bord pour lui imprimer une vitesse de sillage égale à V', ainsi que les conditions suivant lesquelles cette puissance doit être développée.

L'hélice fictive du *Pélican* et celle du navire L aurout un même coefficient de recul, qu'on pourra trouver de diverses manières, entre autres, en faisant usage de la formule $\rho = \frac{e^{11,5}\, b^{0,66}}{e^{1,15}\, b^{0,35} + c}$. On arrivera ainsi à évaluer le nombre de tours n' par 1″, que devra faire l'hélice du navire L, pour lui imprimer la vitesse V'. Soient D' le diamètre, et C' la course des pistons à vapeur de l'appareil du navire L, p' la pression

brute moyenne en centimètres de mercure, exercée pendant toute la course sur les pistons, N' le nombre de coups de piston dans une minute; r' le rapport d'engrenage (si la machine est à mouvement direct, il suffit de faire $r'=1$) : x' une constante à retrancher de p'; de telle sorte que $p'-x'$, soit proportiounel à la pression utile, et A' un coefficient de réduction analogue à celui qui a été désigné par A pour la machine du *Pélican;* soit enfin C_e' le couple élémentaire du bâtiment L, on aura dans l''hypothèse d'une machine à deux cylindres $C_e' = A_1' \times D'^2C' \times \frac{\left(\frac{p'-x'}{r'}\right)}{n'^2}$; A' étant égal à $A_1 \times \frac{10330}{2 \times 76}$, de même qu'on a pour *le Pélican*

$C_1 = A_1 \times D'^2C \times \frac{\left(\frac{p-x}{r}\right)}{n^2}$, x étant égal à 5 centimètres.

D'un autre côté, on a $\frac{C'_e}{C_e} = \left(\frac{d'}{d}\right)^2$, on en conclura

$$D'^2C' \times \frac{\left(\frac{p'-x'}{r'}\right)}{n'^2} = \frac{A_1}{A'_1} \times D^2C \times \frac{\left(\frac{p-5}{r}\right)}{n^2} \times \left(\frac{d'}{d}\right)^2 \qquad [1],$$

ou substituant $\frac{N'r'}{60}$, pour n', on a

$$D'^2C' \times \left(\frac{p'-x'}{N'^2}\right) \times \frac{1}{r'^2} = \frac{1}{60^2} \times \frac{A_1}{A'_1} \times \frac{\left(\frac{p-5}{r}\right)}{n^2} \times \left(\frac{d'}{d}\right)^2 \qquad [2].$$

Le rapport $\frac{d'}{d}$ est le même que $\sqrt{\frac{K''B'^2}{KB^2}}$ et nous pouvons mettre $B^2 = 10{,}20$ mètres carrés et $K = 6$ kilogrammes, à une vitesse de 9,5 nœuds. Les valeurs de P, qui sont les mêmes que celles de $\frac{\left(\frac{p-5}{r}\right)}{n^2}$ peuvent être obtenues par les tables des expériences du *Pélican*. La valeur de D^2C est égale à 1,204, le diamètre D étant $1^m,12$ et la course $C = 0^m,96$. Quant à la quantité $\frac{A_1}{A'_1}$, qui représente le rapport du coefficient de réduction de la machine du *Pélican* et de celle du navire L, il sera permis de la rendre égale à 1, si les machines ne sònt pas trop différentes l'une de l'autre. Alors l'équation [2] devient

$$D'^2C' + \frac{(p'-x')}{N'^2} \times \frac{1}{r'^2} = \frac{1}{60} \times D^2C \times \frac{\left(\frac{p-5}{r}\right)}{n^2} \times \left(\frac{d'}{d}\right)^2 \qquad [3];$$

$$D'^2C' \times (p'-x) \times N = 60\ D^2C \times \frac{\left(\frac{p-5}{r}\right)}{n^2} \times \left(\frac{d'}{d}\right)^2 \qquad [4].$$

Si nous omettons les quantités x et x' qui chacune représentent 5 centimètres de mercure, les équations deviennent

$$D'^2C' \times \frac{p'}{N'^2} \times \frac{1}{r'^2} = \frac{1}{60^2} \times D^2C \times \frac{\left(\frac{p}{r}\right)}{n^2} \times \left(\frac{d'}{d}\right)^2 \qquad [5];$$

et

$$D'^2C' \times p' \times N' = 60 \times n'^2 D^2C \times \frac{\left(\frac{p}{r}\right)}{n^2} + \left(\frac{d}{d'}\right)^2 \qquad [6].$$

Les deux dernières formules, qui sont identiques au fond, conduiront pour la pratique à des résultats suffisamment exacts. Il y aura seulement à calculer la valeur de $\frac{\left(\frac{p}{r}\right)}{n^2}$ au lieu de celle de $\frac{\left(\frac{p-5}{r}\right)}{n^2}$; $\frac{\left(\frac{p}{r}\right)}{n^2}$ n'est pas une quantité rigoureusement constante, puisque cette propriété appartient à $\frac{\left(\frac{p-5}{r}\right)}{n^2}$; mais les variations en sont assez peu étendues.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES AU POINT DE VUE PRATIQUE[1].

Pour compléter les conclusions qui précèdent, il nous reste à formuler notre opinion sur le mérite relatif de l'hélice et de la roue à aubes appliquées à la navigation maritime. Nous avons établi déjà qu'en ce qui concerne la marche en eau calme de deux bâtiments, l'un à roues et dans des conditions convenables d'immersion de pales, l'autre à hélice placé dans les conditions de résistance relative des avisos, et muni de l'hélice la plus convenable à ce système, l'utilisation des deux propulseurs était sensiblement identique, c'est-à-dire que les vitesses des bâtiments étaient les mêmes pour un même travail développé sur l'arbre de la machine. Il résulte de là que si on poursuit, dans toutes les circonstances de la navigation, la comparaison entre deux avisos mus par des systèmes différents de propulsion, l'avantage de la marche à dépense égale de travail, doit rester toujours au bâtiment à hélice.

Les causes de cette supériorité ont été citées tant de fois et sont si bien appréciées des marins, que nous nous contenterons de les indiquer ici rapidement. Sans tenir compte en ce moment de l'influence du vent et de la mer, il est facile de comprendre que l'efficacité des aubes dépen-

[1] Ces observations sont copiées dans le rapport de MM. Bourgois et Moll; elles sont omises dans la traduction d'une partie du rapport qui se trouve dans l'ouvrage de M. Bourne.

dant essentiellement du degré de leur immersion, la consommation de combustible, aussi bien que l'excès de chargement agiront sur l'action du propulseur à roues dans un sens généralement défavorable; tandis que l'hélice entièrement plongée ne subira que très-faiblement l'influence des différences d'immersion du bâtiment. Si en outre, le vent contraire vient à fraîchir, ou la mer à se creuser, la résistance des tambours augmentera notablement la somme des résistances à vaincre. Les mouvements de roulis venant à faire émerger alternativement les aubes, en diminueront l'utilisation d'une manière très-sensible; enfin, les voiles ne pourront être employées que très-modérément sur le bâtiment à roues; tandis que le propulseur à hélice, n'émergera que faiblement de l'eau dans les plus grands coups de tangage et n'aura, par sa position et par sa forme, absolument rien à redouter de l'emploi de la voilure sur la plus grande échelle.

A mesure que croîtra la valeur de la résistance relative des bâtiments que l'on comparera, la supériorité de la roue en calme et dans les circonstances qui lui sont le plus favorables, deviendra plus sensible et pourra sans doute établir une certaine compensation avec son infériorité à la mer; mais alors et surtout si on arrive à la limite extrême de cette résistance relative, en passant de suite aux vaisseaux mixtes, des considérations d'un autre ordre et bien plus graves ne permettront pas d'hésiter dans l'emploi des moyens de propulsion.

La nécessité de placer tout l'appareil à l'abri des boulets ennemis et, par conséquent, au-dessous de la flottaison, engagera naturellement à repousser les roues à aubes.

On voit donc que les résultats de nos expériences tendent à limiter l'usage de ce dernier propulseur à un petit nombre de services spéciaux qui exigent un tirant d'eau très-faible.

Un reproche banal adressé à l'hélice est la grande vitesse de rotation, que beaucoup de personnes considèrent, assez gratuitement, comme inévitable et indispensable à son bon fonctionnement. Les tableaux précédents montrent assez le peu de fondement de ces reproches et l'avantage qui peut résulter de l'emploi des pas allongés sur les avisos et les vapeurs en général, soit au point de vue de l'utilisation, soit au point de vue purement pratique. Dans ces conditions, c'est-à-dire avec un diamètre presque égal au tirant d'eau, et avec un pas égal à deux fois ou deux fois et demie le diamètre, le mouvement direct peut généralement être employé

sans qu'il en résulte pour l'appareil moteur une accélération de vitesse nuisible à son utilisation.

La suppression des engrenages, l'établissement de tout le mécanisme au-dessous de la flottaison, en sont les heureuses conséquences, et il est à désirer que ce système prévaille à bord des avisos et des vapeurs à grande vitesse, dont le propulseur doit être construit dans les conditions les plus favorables pour la marche, sans se préoccuper du démontage, dont de nombreuses expériences démontrent l'inutilité pour cette classe de navires.

S'il fallait appuyer cette assertion sur des chiffres précis, nous dirions qu'une légère augmentation de tirant d'eau, et du diamètre du *Pélican*, permettrait de porter avec avantage le pas de son hélice à 8 mètres, et que 60 tours de machine par minute (vitesse de rotation qui n'a rien d'exagéré pour une machine de 120 chevaux) suffiraient pour lui faire atteindre sa plus grande vitesse de sillage : si les dimensions du bâtiment et de la machine étaient plus considérables, la vitesse de rotation nécessaire pour obtenir la même vitesse de sillage, diminuerait en proportion inverse. Mais l'emploi des longs pas soulève une autre objection tout aussi facile à réfuter : on leur attribue l'inconvénient d'exiger des hélices trop lourdes. Cette objection tient à ce que généralement on a exagéré la fraction de pas des hélices; mais en adoptant les proportions indiquées dans nos tableaux, par exemple une fraction de pas égale à 0,28 pour un pas de 5m,23, il est évident que le poids de l'hélice ne sera pas aussi considérable que celui des autres propulseurs d'un faible pas, construits le plus souvent avec des fractions de pas trop considérables.

En ce qui concerne la navigation à la voile, le démontage de l'hélice par un puits supérieur, a l'inconvénient d'exiger l'emploi des hélices à deux ailes et d'une plus faible fraction de pas, deux circonstances qui tendent à augmenter les trépidations de l'arrière, les ballottements de l'arbre, et par conséquent les causes d'usure de ses coussinets.

L'expérience acquise sur un certain nombre de bâtiments, et sur *le Pélican* lui-même, qui louvoie parfaitement avec son hélice folle, ayant montré d'ailleurs la possibilité de remplacer sans inconvénient le démontage par le désembrayage, nous concluons à l'adoption des hélices à quatre ou six branches, à la suppression des engrenages et à l'adoption du mouvement direct pour les avisos et les vapeurs.

Nous nous abstiendrons de nous prononcer d'une manière aussi péremptoire à l'égard des bâtiments mixtes, n'étant pas en mesure

d'appuyer notre opinion sur des expériences précises; mais nous insisterons sur les inconvénients inhérents au système ordinaire de démontage.

La grosseur des façons de l'arrière et la largeur des étambots, qui accompagnent cette installation, tendent à troubler le jeu de l'organe et à diminuer notablement son efficacité. L'emploi de l'hélice à deux ailes, qui est la conséquence de ce système, ainsi que l'adoption d'un pas raccourci et d'une faible fraction de pas, commandée à la fois par la nature même de l'hélice et par la nécessité d'en diminuer le poids, entraînent une rotation rapide, se concilient difficilement avec le mouvement direct, conduisent à l'établissement d'engrenages et rendent ainsi l'appareil plus vulnérable.

Nous pensons donc qu'il y a lieu de tenter quelques efforts et d'entreprendre au moins un essai pour s'affranchir d'une sujétion aussi fâcheuse[1].

Ces citations mettront à même de former une juste appréciation des mérites du mémoire de MM. Bourgois et Moll, qui fait beaucoup d'honneur à leurs talents et à leur savoir, mais qui eût été d'une plus grande utilité, si on s'était servi du dynamomètre et si on avait adopté un mode d'investigation plus simple. Leurs recherches n'ont cependant pas épuisé le sujet, et nous avons encore à apprendre jusqu'à quel point l'immersion de l'hélice équivaut à l'accroissement de son diamètre, et quel est le changement qu'éprouve la poussée par suite de l'altération du pas. Toutefois, dans le cas d'hélices superficielles, et celles-ci comprennent les exemples qui se présentent en pratique, les expériences de MM. Bourgois et Moll nous mettent en état, avec un diamètre donné, de spécifier le meilleur pas et la meilleure longueur; que l'hélice soit composée de deux, de quatre ou de six ailes. Prenant K pour la résistance par mètre carré de la maîtresse section immergée, B^2 l'aire de cette section, d le diamètre de l'hélice en mètres, et p le pas de l'hélice en mètres, on a $\sqrt{\frac{B^2}{K}} = d$, et d multiplié par le rapport du pas au diamètre donné dans la seconde colonne de la seconde table, à la page 118, sera égal à p. Enfin $\frac{p \times \text{fraction du pas}}{\text{nombre d'ailes}} =$ la longueur de l'hélice.

Il est utile de rendre cette question plus claire par un exemple, et je

[1] Ici se termine la copie de la fin du rapport de MM. Bourgois et Moll, et recommence la traduction littérale de M. John Bourne.

prendrai le cas d'une corvette à grande vitesse ou d'un paquebot à hélice à grande puissance. La même manière de procéder est applicable pour toute autre classe de navires, et je prendrai les dimensions en mesures françaises, quoique les unités anglaises puissent aussi être employées. En se référant à la table des proportions convenables des hélices propulsives, donnée à la page 118, on verra que la résistance relative d'une corvette à grande vitesse est $K \times 2$; ou prenant K égal à l'unité, la résistance relative se trouve égale à 2. Soit la maîtresse section immergée, ou B^2, égale à 38,72 mètres carrés, on aura $\sqrt{\frac{38,72}{2}} = 4,4$ pour le diamètre de l'hélice en mètres. Supposant qu'on emploie une hélice à quatre ailes, le rapport du pas au diamètre propre à l'hélice de cette sorte, lorsqu'elle est appliquée à une corvette à grande vitesse, est, d'après la table de la page 118, 2,080; le pas convenable est donc $4,4 \times 2,080 = 9,152$ mètres. La longueur de l'hélice étant le pas multiplié par la fraction du pas et divisé par le nombre d'ailes, et la fraction convenable du pas, pour une hélice de cette sorte, étant 0,294 d'après la table, nous avons 9,152 mètres multipliés par 0,294 et divisés par 4, qui donnent 0,672 mètre. Au moyen d'une méthode semblable il n'y aura pas de difficultés à fixer, pour telle classe et telle dimension de navires, les proportions de l'hélice qui donneront un maximum d'utilisation, que l'hélice choisie soit à deux, à quatre ou à six ailes. La principale différence que produira l'accroissement du nombre d'ailes sera de diminuer la vitesse de la machine, car un grand pas est propre à une hélice à beaucoup d'ailes, et un grand pas comporte une machine lente, afin qu'il n'y ait pas un accroissement nuisible de recul. Dans les cas où la machine est directement liée à l'hélice, et où on craint qu'elle ne se meuve avec une vitesse nuisible, il y a deux modes pour diminuer cette rapidité : l'un est l'emploi d'un engrenage, l'autre celui d'une hélice à ailes nombreuses et à grand pas. Ce dernier moyen paraît préférable, excepté dans les cas où l'hélice serait élevée dans un puits, et où il faudrait par conséquent adopter une hélice à deux ailes.

Après avoir terminé ce qui regarde le laborieux mémoire de MM. Bourgois et Moll, et avoir montré comment les résultats qu'ils ont obtenus peuvent être employés à déterminer les proportions des hélices pour d'autres navires, je me propose d'indiquer en peu de mots une manière de considérer le sujet, qui est plus simple que celle qu'ils ont

adoptée, et par laquelle les parties importantes de cette question peuveut être facilement comprises par la généralité des lecteurs. Laissant de côté, pour le moment, la question du recul, il est évident qu'une hélice pousse un navire dans l'eau de la même manière que la vis entraîne le support d'un tour, ou qu'elle avance en pénétrant dans une pièce de bois. Maintenant, comme aucune combinaison mécanique, telle qu'un corps poussé par une vis, ne gagne ni ne perd de force, excepté par le frottement, il en résulte qu'en le négligeant ainsi que le recul, la poussée sur l'arbre de l'hélice d'un navire, multipliée par l'espace parcouru dans un temps donné, serait précisément la même que celle agissant sur les pistons de la machine, multipliée par l'espace qu'ils ont parcouru dans le même temps. En d'autres mots, d'après les conditions que nous venons de supposer, la force mesurée par le dynamomètre serait égale à la pnissance de la machine, et cela serait évidemment, s'il n'y avait pas de force inutilement dépensée par le recul ou le frottement, puisque alors il n'y aurait pas d'autre manière d'employer la force produite. Si une hélice est tournée avec un certain rapport de leviers et avec une pression ou un poids donné, la quantité de poussée qu'elle exercera dépendra de la finesse de son pas; car, si ce dernier est court, l'avance par révolution sera petite, et la force sera en proportion de cette petitesse. Si nous supposons qu'il y ait un peu de recul, ainsi qu'on l'éprouve réellement, ces relations continueront d'exister; et dans les hélices propulsives ordinaires, ayant un frottement et un recul modérés, la poussée deviendra plus grande, si le pas est rendu moindre; mais la machine tournera avec d'autant plus de vitesse, et il n'en résultera aucun avantage mécanique à employer un pas très-court. Cependant, toutes les fois qu'il s'agit de surmonter un obstacle considérable avec une machine de dimensions limitées, un pas court sera lo plus convenable. Par le fait, diminuer le pas de l'hélice d'un navire, est la même chose que raccourcir le diamètre des roues à aubes des anciens vapeurs. En effet, si le diamètre des roues à aubes est rendu plus petit, leur force de traction est augmentée dans le même rapport; mais le recul des aubes est anssi plus considérable, que si elles avaient conservé leurs premières dimensions, puisqu'il y a une plus grande pression exercée sur la surface des palettes. La colonne d'eau sur laquelle agit une hélice est poussée en vague à l'arrière, à cause de son manque d'inertie; et si une pression plus considérable agit sur elle, cette perturbation est augmentée. Mais si l'hélice est profondément plongée, elle devra surmonter

l'inertie de la colonne supérieure avant que la vague soit élevée, et la perte de force, par le recul et par l'action centrifuge, sera diminuée à cause du peu de mouvement de l'eau exposée à son action. En général il paraît que, dans le cas d'hélices profondément plongées ou même de toutes celles auxquelles une résistance convenable est opposée, et dont par conséquent le recul n'est pas trop grand, la poussée sur l'arbre de l'hélice variera, à peu près comme le pas, avec une pression donnée sur les pistons, ou bien, avec un pas donné, elle changera à peu près comme la pression sur les pistons. Par conséquent, avec un petit pas, il arrivera que le même effet sera produit sur la colonne d'eau sur laquelle l'hélice agit, que si on employait une grande puissance de machine. Dans le fait, la colonne d'eau sera d'autant plus relevée à l'arrière que la poussée de l'arbre de l'hélice sera plus forte, et il suit de là que les navires qui ont un petit pas ont plus fréquemment un recul négatif, en ce qu'ils sont poussés, non-seulement par l'effort de l'hélice, mais aussi par l'effet de la gravitation sur la pente causée par la vague élevée à l'arrière par l'impulsion du propulseur. Avec une pression donnée, agissant sur les pistons d'uue machine, et un pas d'hélice donné, la poussée exercée par l'arbre peut être déterminée approximativement et, en effet, le frottement seul empêche cette détermination d'être exacte. Si l'espace parcouru par l'hélice, en supposant qu'elle se meuve dans un écrou solide, était double de celui parcouru par les pistons, la poussée de l'hélice serait moitié de celle exercée par les pistons. Si l'espace parcouru par l'hélice, en supposant toujours qu'elle tourne dans un écrou solide, est trois fois plus grand que celui parcouru par les pistons, la poussée de l'hélice sera un tiers de la pression exercée par les pistons, et ainsi de suite avec toutes les autres proportions. Le recul ne changera pas cette détermination, car la poussée sera la même, qu'il y en ait ou qu'il n'y en ait pas; tandis que, relativement au frottement, il n'est pas assez grand ou assez variable pour influer sensiblement sur les résultats relatifs.

A propos de ce qui regarde l'immersion de l'hélice, je dois rapporter ici deux phénomènes relatifs à la manière d'opérer des navires à hélice, dont les causes n'ont pas encore reçu d'explication, mais qui, je le pense, sont dus à l'immersion inégale des ailes. Le premier est l'impossibilité des navires de cette sorte de marcher en arrière sans être en même temps entraînés de côté, en dehors de la direction proposée, et cela en dépit du gouvernail; et le second l'oscillation, ou plutôt la tor-

sion éprouvée par l'arrière des navires, lorsqu'ils sont en marche. Quand un navire à vapeur commence à marcher de l'arrière, il se meut généralement avec lenteur, de sorte qu'alors le gouvernail a une petite force comparative; et si pendant qu'il s'avance lentement dans l'eau, la machine est tout à coup renversée, l'action centrifuge de l'hélice agira contre la pesanteur de l'eau, et il peut arriver quo l'eau n'entre que partiellement dans la partie supérieure du cercle décrit par les ailes, à cause de la répulsion causée par la force centrifuge. Mais vers la portion inférieure de ce cercle, où la pression de l'eau est plus grande et l'action centrifuge seulement la même, l'eau parviendra à s'introduire davantage et présentera, par conséquent, plus de résistance à la rotation des ailes. Il en résultera, par conséquent, que la réaction contre les ailes de l'hélice sera moindre dans la partie supérieure du disque ou cercle décrit par les ailes, que dans la partie inférienre de ce même cercle : et, dans de telles conditions, l'hélice détournera le navire de la route désignée, de la même manière que si elle n'était plongée que jusqu'à l'axe. C'est par la même raison que quand le navire est en route, l'hélice donne un mouvement de torsion à l'arrière. Naturellement il ne peut y avoir un vide absolu dans le circuit décrit par les ailes, quand le navire fait route, et même en marchant en arrière; ce n'est que dans certains cas qu'un tel espace vide peut se présenter. Mais les ailes passeront toujours avec moins de résistance par la partie supérienre de leur tour que par l'inférieure, parce que l'eau est plus facilement remuée, là où il y a une petite pression hydrostatique en dessus. Si ces idées sont correctes, il en résultera qu'une hélice profondément immergée, fera mieux marcher en arrière que celle située près de la surface, et qu'elle donnera aussi moins de mouvement à l'arrière. Sous le rapport de ces influences perturbatrices, une hélice à trois ailes agira mieux que celle à deux, parce que l'impulsion de l'aile verticale, quand elle est à la partie inférieure du parcours, est balancée par celle des deux autres ailes, qui sont alors dans la partie supérieure du cercle décrit : en outre, les hélices à trois ailes divisent mieux que celles à deux l'accroissement momentané de poussée, qui occasionne la forme dentelée de la courbe du dynamomètre, et qui est due à l'entrée des ailes dans l'eau morte de l'arrière de l'étambot. Ces hélices se ressentent moins des mouvements de la mer, mais ces qualités seraient moins sensibles avec une profonde immersion, et, dans cette condition, les deux ailes sont probablement meillenres. Pour toutes sortes d'hélices, il est nécessaire de

connaître, non-seulement le diamètre de la colonne d'eau exposée à son action, mais aussi la longueur sur laquelle cette action s'opère dans un temps donné, et cette longueur varie suivant le sillage du navire; car l'eau résiste à l'impulsion par son inertie, et cette inertie est proportionnelle à la masse ou à la quantité d'eau soumise à l'action du propulseur. Il en résulte donc qu'une colonne d'un petit diamètre offrira autant de résistance, pour un navire à grande marche, que celle d'un grand diamètre pour celui d'une marche lente; puisque avec le navire rapide l'hélice agit sur une plus grande longueur de colonne dans un temps donné. Lorsqu'on applique une machine plus puissante, le recul de l'hélice sera, il est vrai, un peu augmenté, comme on l'a expliqué à la page 90; mais il ne le sera pas à beaucoup près autant, que si on mettait obstacle à la vitesse en augmentant la dimension ou la grosseur de forme du navire. Toutefois, en cherchant la dimension de l'hélice propre à être employée avec une machine d'une force donnée, il est convenable de connaître la vitesse avec laquelle on espère que le navire marchera, car si le type du bâtiment est tel que sa vitesse dans l'eau soit nécessairement faible, un grand diamètre est nécessaire. Ces considérations montrent évidemment combien il est important de faire les carènes des navires à hélice suffisamment aiguës et fines pour les mettre à même de traverser l'eau avec facilité. Car non-seulement il y a un désavantage commercial dans la lenteur de marche qu'entraîne une forme grossière; mais l'hélice, forcée d'agir sur une colonne d'eau moins étendue, dans un même espace de temps, doit être, soit d'un plus grand diamètre, soit plongée plus profondément ou, si ces deux conditions ne sont pas remplies, son recul sera beaucoup augmenté. En remorquant ou en luttant contre des vents debout, le même vice se présente; car la diminution de vitesse du navire force l'hélice à n'agir que sur la même eau, et l'effet est équivalent à celui produit par une diminution de son diamètre.

L'action des voiles augmente virtuellement le diamètre de l'hélice, en faisant marcher le navire plus vite et, par conséquent, en allongeant la colonne d'eau sur laquelle le propulseur agit dans un temps donné. Dans de pareilles circonstances le recul de l'hélice sera moindre et le navire marchera d'une manière plus avantageuse sous tous les rapports. Dans les navires à roues le même effet se présente probablement, mais je ne crois pas qu'on l'ait jamais remarqué.

Avant de terminer ce chapitre, dont la longueur dépasse beaucoup

mes prévisions, je récapitulerai brièvement les résultats obtenus avec les hélices de Beattie appliquées à bord du *Frankfort*, navire faisant le service entre Liverpool et la Méditerranée. D'après cette disposition, l'hélice est placée derrière le gouvernail et celui-ci a un œil ovale qui joint les deux parties du safran, et à travers lequel passe l'arbre. Cette disposition corrige, dit-on, d'une manière notable, le mouvement incommode que les navires à hélice éprouvent à l'arrière et la manière dont *le Frankfort* se comporte est certainement très-bonne. Cependant j'attribue ces qualités supérieures plutôt aux formes remarquables du navire qu'à des particularités de l'hélice; car d'autres navires des mêmes constructeurs montrent d'aussi bons résultats, avec des hélices disposées de la manière ordinaire. *Le Frankfort* a été construit par MM. Reid et C[ie] du port de Glsscow et il avait été tracé par M. John Wood, auquel l'art de la navigation à vapeur a de si profondes obligations et que, dans leurs efforts les plus heureux, les autres constructeurs ont seulement réussi à imiter. Les données suivantes sur les dimensions du *Frankfort* m'ont été communiquées par M. Beattie. Longueur du navire, 58^m; largeur, $8^m,38$; creux, $5^m,02$; tirant d'eau moyen lors des essais, $4^m,17$; aire de la maîtresse section immergée, 30,65 mètres carrés; déplacement 1150 tonneaux; chargement en tonneaux, 657; diamètre des cylindres, $1^m,00$; longueur de la course, $0^m,50$; nombre de tours par minute, 47; puissance nominale, 100 chevaux; diamètre de l'hélice, $3^m,96$; pas, $7^m,62$ [1]; aire du disque de l'hélice, 11,35 mètres carrés; rapport de la maîtresse section au disque de l'hélice, 2,7; vitesse de l'hélice si elle tournait dans un écrou solide, 11,5 nœuds; vitesse du navire, 9,75 nœuds; recul, 1,75 nœuds; pression moyenne sur le piston, $1^k,333$; puissance réelle ou mesurée par l'indicateur, 386 chevaux; rapport de la puissance nominale à la maîtresse section, 3,268; de la puissance réelle à la maîtresse section, 12,612; coefficients de fonctionnement, en admettant que la vitesse varie directement comme la racine cubique de la puissance et inversement comme l'aire de la maîtresse section.

$$\frac{\text{Vitesse}^3 \times \text{maîtresse section}}{\text{puissance nominale}} = 3058,35 \text{ ou en se rapportant au mètre} = 284,42$$

$$\text{et } \frac{\text{Vitesse}^3 \times \text{maîtresse section}}{\text{puissance réelle}} = 792,3 \text{ ou en se rapportant au mètre} = 74,18.$$

[1] Ce pas est très-grand pour une hélice à deux ailes et de $3^m,96$ de diamètre. Le navire atteindrait une plus grande vitesse avec un pas moindre, mais en même temps il consommerait plus de charbon

Ces résultats sont supérieurs à tous ceux obtenus sur les navires à hélice de la marine. Parmi les bâtiments de l'État le plus grand coefficient obtenu en opérant de la sorte, a été celui du *Rattler* qui, dans les meilleures circonstances, a donné 676,7 (ou relativement au mètre 62,93), tandis que nous venons de voir que celui du *Frankfort* est de 792,3, ou 74,18. *La Fairy*, a malgré sa marche rapide un faible coefficient, sans doute à cause de ses petites dimensions, et pour mettre ses résultats à même d'être comparés à ceux obtenus sur des navires plus grands, il faut allouer une quantité pour compenser la différence de grandeur comme on l'a expliqué pages 93 et 99.

CHAPITRE VI.

NAVIRES A HELICE A GRANDE PUISSANCE.

Les navires à roues à aubes, destinés à franchir rapidement de grandes distances sur l'Océan, ont généralement une puissance mécanique d'un cheval pour chaque 2 ½ tonneaux, et c'est à peu près le rapport de la puissance au tonnage des vapeurs de la compagnie Cunard employés sur l'Atlantique. Très-peu de navires à hélice ont été construits avec cette proportion, excepté dans la marine militaire; et les formes des bâtiments de cette dernière, sont, en général, si peu convenables pour la vitesse, qu'elles ne permettent pas d'établir une comparaison entre les deux modes de propulsion. Cependant, *le Rattler*, *le Desperate* et quelques-uns des autres vapeurs à hélice de la marine, ont d'aussi bonnes formes que les navires à roues ordinaires, et ils présentent à peu près la même utilisation. A bord du *Dauntless* la proportion de la puissance au tonnage est de 1 à 2,88 et la vitesse maximum est 10,29 nœuds; sur *le Desperate*, la proportion de la puissance au tonnage est 1 à 2,59 et la vitesse maximum est 10,766 nœuds; sur *le Dwarf*, petit navire, la proportion de la puissance au tonnage est 1 à 1,5 et la vitesse maximum 10,537 nœuds; sur *l'Encounter*, la proportion de la puissance au tonnage est 1 à 2,64 et le maximum de vitesse est 10,254 nœuds; sur *la Fairy*, petit navire, la proportion de la puissance au tonnage est 1 à 2,58, et le maximum de vitesse est 13,324; sur *la Mégère*, la proportion de la puissance au tonnage est 1 à 3,7, et le maximum de vitesse est 10,24 nœuds: sur *le Niger* la proportion de la puissance au tonnage est 1 à 2,68 et la vitesse maximum 10,43 nœuds : sur *le Rattler*, la proportion de la puissance au tonnage est 1 à 4,44, et le maximum de vitesse 10,07 nœuds; sur *le Termagant*, la proportion de la puissance au tonnage est 1 à 2,5, et le maximum de vitesse est 9,51 nœuds. A bord du yacht à vapeur *la Fire Queen*, construit par MM. R. Napier et Cie de Glascow, pour M. Ashton Smith, la proportion de la puissance au tonnage est 1 à 2,8, la puissance est 80 chevaux et le chargement en tonneaux est 227. Sur le paquebot à hélice français *le Faon*, construit

par M. Normand, du Havre, sur les dessins de M. Moissard, ingénieur de la marine, pour faire le service entre Calais et Douvres, la proportion de la puissance an tonnage est un peu plus grande que sur *la Fairy*, mais les deux navires sont semhlables sous les autres rapports. Les machines de ces deux bâtiments sont de 120 chevaux et construites par MM. Penn et fils, de Greenwich : elles sont représentées sur l'une des planches de cet ouvrage. *Le Faon* a les dimensions suivantes : longueur entre perpendiculaires, $40^m,50$; largeur au maître bau, $6^m,19$; largeur à la flottaison en charge, $6^m,00$; tirant d'eau avant, $1^m,85$; arrière, $2^m,10$. Le déplacement de la partie avant est de 92,927 tonneaux métriqnes, et celui de la partie arrière de 95,725, de sorte que le déplacement total est de 188,652 tonneaux métriques. Les cylindres du *Faon* ont $1^m,051$ de diamètre, et la longueur de la course est de $0^m,915$. La pression dans les chaudières est de $0^k,982$ par centimètre carré; le nombre de coups de piston est de 40 à 42; celui des révolutions de l'arbre par minute est de 200 à 210, le pas de l'hélice est de $2^m,350$; le sillage moyen est de 12 à 13 nœuds. Le poids des machines est de 53 tonneaux, celui des chaudières 11 tonneaux; la durée moyenne entre Calais et Douvres, allée et retour, est de 3 heures 46 minutes, la distance entre ces deux points est 22 milles marins, la consommation moyenne du comhnstible pour aller et revenir est de 2799^k. Lorsque le navire est aidé de ses voiles, il atteint 14 milles et même plus. Avec les voiles seules et l'hélice folle, la vitesse est de 9' à 9',5 et avec l'hélice non désembrayée 5' à 5',5 nœuds.

L'aire de la maîtresse section immergée du *Faon* est de $8^{m.q},174$; celle du parallélogramme circonscrit à la maîtresse section immergée est $10^{m.q},775$; l'aire du plan de la flottaison $162^{m.q},364$; celle du parallélogramme circonscrit an plan de flottaison est $242^{m.q},87$. La capacité de la partie immergée de la carène est $186^{m.cubes},98$, et la capacité du parallélipipède circonscrit est 15 331,47 pieds cubes ou $543^{m.cubes},41$. Le rapport de la longueur à la largeur à la ligne d'eau est de 6,75 à 1; celui de la maîtresse section immergée au parallélogramme circonscrit est 0,748 à 1; celui de la section horizontale à la ligne d'eau au rectangle circonscrit est 0,667 à 1; celui de la capacité de la carène au parallélipipède circonscrit est 0,426 à 1; le rapport de la longueur du navire à la racine carrée de l'aire de la maîtresse section immergée est 14,24 à 1. Le nombre de chevaux de puissance nominale pour chaque pied carré de a maîtresse section immergée est 1,36 ou de 14,63 chevaux par mètre

carré et le nombre de pieds cubes de la carène immergée pour chaque cheval de force nominale est de 54,865, ou bien $1^{m.cubes},56$ par cheval.

Si la pression effective sur les pistons du *Faon* est de $1^{k},053$ par centimètre carré ; le rapport des engrenages étant 5, il en résulte que la même pression rotative serait produite par $0^{k},210$, avec des machines directement unies à l'arbre. La course des pistons est $0^{m},915$, ils parcourent $1^{m},830$ à chaque révolution de la machine : le pas de l'hélice étant $2^{m},348$; le navire avancerait donc de $2^{m},348$ si l'hélice tournait dans un écrou solide. Si les pistons parcouraient $2^{m},348$ à chaque coup double, la même force de révolution serait obtenue par une pression de $0^{k},164$, comme elle le serait par une pression de $0^{k},210$ avec un mouvement de $1^{m},830$. Maintenant l'aire des pistons est 2771 pouces carrés ou 17 318 centimètres carrés, et cette surface multipliée par 2,34 ou $0^{k},164$, donne 2840^{k}, ce qui serait l'impulsion donnée à l'arbre de l'hélice, si tout fonctionnait sans frottement. Mais comme probablement un quart de la puissance est pris par cette cause, l'effort réel sera dans cette supposition, environ 1,96 tonneaux, ou $1990^{k},57$, ou 55 lbs par pied carré, ou 268^{k} par mètre carré de la section immergée. Toutefois, dans le cas d'un navire tel que *le Faon* ou *la Fairy*, la résistance par pied carré de la section immergée peut être portée à 50 ou 60 lbs c'est-à-dire 244^{k}, ou 293^{k} par mètre carré à une vitesse de 12 à 13 nœuds. C'est presque le double de la poussée nécessaire pour faire parcourir 10 nœuds à l'heure. L'hélice de *la Fairy* a $1^{m},89$ de diamètre, de sorte qu'elle a une aire d'environ 30 pieds carrés ou $2^{m.q},80$; et supposant le même diamètre à l'hélice du *Faon*, il en résulte que si la poussée totale est de 1990^{k}, celle par pied carré du disque de l'hélice sera 161,5 lbs ou 788^{k} par mètre carré. L'impulsion réelle du disque de l'hélice serait généralement plus forte que celle-ci, puisque la pression effective des pistons est dans les circonstances favorables de plus de 15 lbs par pouce carré, $1^{k},053$ par centimètre carré, comme l'a montré la courbe d'indicateur, prise sur les machines du *Faon* pendant un essai de sa vitesse, le 27 mai 1847.

Figure 10.



Courbe d'indicateur du vapeur français *le Faon*.

Toute la puissance engendrée dans les cylindres d'un navire à hélice est dépensée à produire trois effets distincts : le premier, à vaincre le frottement des machines et de l'hélice; le second, à pousser le navire à travers l'eau, et le troisième à donner un mouvement à l'eau elle-même. Toutes les fois que le dynamomètre a été appliqué, la quantité de force dépensée à occasionner chacun de ces effets a été facile à déterminer; car la différence entre la poussée théorique et la poussée réelle de l'arbre représente la force employée par le frottement : et la différence entre l'avance théorique et l'avance réelle par révolution ou par heure, exprime la force consommée par le recul, et par le mouvement donné à l'eau. Si une hélice d'un petit pas était employée, le frottement, en tournant dans l'eau, serait beaucoup augmenté; mais, dans ce cas, la puissance consacrée à le vaincre ne serait pas entièrement perdue, parce qu'elle réduirait le recul en élevant la surface de l'eau à l'arrière. L'eau adhérente à l'hélice, ou entraînée latéralement par elle, acquiert un mouvement centrifuge, qui produit naturellement une saillie à la surface; et cette élévation occasionne un courant qui, arrivant par le derrière ou côté opposé à celui qui agit en repoussant l'eau, influe sans doute sur le recul apparent : de sorte que le recul réduira la vitesse de ce courant ou renversera sa direction, selon que sa vitesse ou la quantité de recul, sera la plus forte. Le mouvement occasionné par la carène en traversant l'eau, et le courant produit, surtout dans les navires à grosses formes, par l'effort du liquide pour remplir l'espace libre laissé de l'arrière, agiront aussi de manière à diminuer le recul apparent; mais ces influences augmenteront dans la même proportion la pression sur le dynamomètre, ou elles diminueront la vitesse, excepté quand le navire sera aidé par le vent. Toutefois, sur les navires marchant avec les voiles, et poussés en même temps par une grande hélice à petit pas (qui donnera une poussée considérable et communiquera, par le frottement, une grande quantité de vitesse centrifuge; force qui n'est dépensée qu'en élevant l'eau à la surface), il est évident que le recul apparent est tellement réduit, qu'il arrive à être nul et même moins que rien, et que par conséquent il est quelquefois négatif, surtout dans les circonstances précitées. Dans les hélices d'un pas très-fin, la pression réelle donnée par le dynamomètre se trouvera plus petite que l'impulsion théorique, que dans les hélices d'un pas allongé; parce qu'une plus grande partie de la puissance des machines trouvera un obstacle dans le frottement, et dans le recul latéral ou rotatif.

D'après ces considérations il est évident qu'il y a deux sortes de recul : la première, produite par le mouvement de l'eau, qui se retire dans la direction du sillage du navire, comme celle qui existe sur les bâtiments à roues; la seconde occasionnée par les ailes, qui en tournant, repoussent et traversent l'eau, au lieu de suivre le chemin en spirale, qu'elles seraient forcées de parcourir, si elles tournaient dans un écrou solide. La première espèce de recul augmente suivant la diminution du diamètre de l'hélice; la seconde croît avec la réduction de sa longueur, ou avec un surcroît de pas des ailes. La quantité de recul produite par le mouvement de la colonne d'eau, qui cède sous l'action de l'hélice, peut être déterminée en connaissant la quantité de force motrice et le volume de l'eau exposée à l'hélice à chaque révolution; car le recul sera égal au mouvement que la force de la poussée, agissant pendant le temps d'une révolution, communiquera au nombre de kilogrammes sur lequel l'hélice agit pendant un tour. Prenons pour exemple une expérience faite à bord de *la Minx*, le 30 juin 1848, dont les détails ont été donnés à la page 86. La pression sur chaque pied carré de l'aire du disque de l'hélice, était de 214 lbs ou 1043 kilogrammes par mètre carré, la vitesse du navire 8,445 nœuds par heure, et le nombre de révolutions de l'hélice par minute 231,32. Si on admet qu'un nœud est de 6075,6 pieds ou 1852 mètres, alors la distance parcourue par le navire, à la vitesse de 8,445 nœuds, sera de 3,7 pieds ou 1^{m},128 par tour, et cette avance sera faite dans environ 0,26 d'une seconde. D'un autre côté la distance dont un corps tomberait, par l'effet de la pesanteur, pendant 0,26 de seconde, est 1,087 pieds ou 0^{m},3315, et un poids de 214 lbs. ou 97^{k},03, mis en mouvement par une pression de 214 lbs ou 97^{k},027, acquerrait, par conséquent, une vitesse de 1,087 pieds, ou 0^{m},3315, pendant le temps que l'hélice met à faire un tour. Cependant le poids à mouvoir est 3,7 pieds cubes d'eau, ou 104^{k},85; de sorte que la vitesse avec laquelle l'eau se retirera sera un peu moins de 1,087 pied par révolution, ou environ un pied, ou 0^{m},305 : cela ajouté à ce que parcourt le navire, fera, pour la distance dont l'hélice a avancé dans l'eau, 4,7 pieds ou 1^{m},433 par révolution. La différence entre ce nombre et le pas est 1,13 pieds ou 0^{m},344, qu'il faut attribuer au recul latéral. Le montant du recul, dans cette expérience, était 36,53 pour 100, dont environ la moitié appartient à la répulsion de l'eau dans le sens de la quille, et le reste à la pénétration latérale des ailes de l'hélice.

La qnantité de mouvement rétrograde communiqné à l'eau et la pénétration latérale des ailes de l'bélice sont influencées par leur plus ou moins d'immersion. De quelque manière qu'elle soit remuée, l'eau s'échappe dans la direction de la plus petite résistance, c'est-à-dire vers la surface; et plus la difficulté est augmentée dans ce sens, en ajoutant à la hauteur de la colonne qu'il faut d'abord remuer, plus la quantité de mouvement imprimé à l'eau par une force donnée se trouve diminuée. A bord d'un navire, et avec la même hélice, le recul ne changera pas, si l'on emploie toute la puissance ou seulement une partie; car bien que la poussée soit plus grande quand la puissance l'est également, la vitesse du navire, et par conséquent le volume d'eau sur lequel l'hélice agit dans un temps donné est plus grand aussi : de sorte que le rapport du recul reste à peu près le même. Dans les navires de peu de tirant d'eau, tels que *le Faon* et *la Fairy*, où l'hélice n'a pas au-dessus d'elle une hauteur considérable, le recul est plus grand en proportion que sur des navires ayant des hélices plus profondes, bien que ces derniers aient des formes moins convenables à la marche. Sur *la Fairy*, le rapport de la maîtresse section immergée à l'aire du disque de l'hélice est plus petit que sur *le Rattler :* cependant sur *la Fairy* le recul est de plus de 30 pour 100, et sur *le Rattler* il n'est pas de beaucoup plus de 10 pour 100. On peut admettre que les résistances des deux navires, par pied carré de leur maîtresse section, sont à peu près égales avec la même vitesse, car la supériorité de dimension du *Rattler* est compensée par la plus grande finesse de formes de *la Fairy*. Si l'hélice de *la Fairy* était plongée à la même profondeur que celle du *Rattler*, sa manière de fonctionner serait beaucoup améliorée, et par conséquent une plus petite hélice serait suffisante.

Dans les expériences du *Pélican*, dont les résultats ont été récapitulés au long dans le chapitre précédent, la vitesse normale prise pour comparaison est un mètre par seconde ou 1,94 nœud par heure. La résistance par mètre carré de la section immergée est estimée à 6 kilogrammes à cette vitesse, ce qui équivaut à 1,22 lbs par pied carré. Par conséquent, à la vitesse de 9,7 nœuds, qui est cinq fois plus grande que la vitesse normale, la résistance sera augmentée à peu près dans la proportion du carré de 1 au carré de 5 ou 25 et 25 fois 6^k ou 150^k seraient suivant cette manière de calculer, la résistance du navire par mètre carré de la section immergée à la vitesse de 9,7 nœuds par heure. Il est utile de comparer ces résultats à ceux obtenus sur *le Rattler* à l'aide du

dynamomètre et nons ponvons prendre dnns ce but le premier essai fait entre *le Rattler* et *l'Alecto* dont les principaux incidents ont été relatés page 61. La section immergée dn *Rattler* au moment de l'essai était environ $35^{m.q},217$ et la poussée de l'hélice donnée par le dynamomètre était 3954^k, lorsque la vitesse était 9,2 nœnds par heure. Cela fait 112^k par mètre carré de section, ce qui est un peu moins que la résistance du *Pélican* telle que l'estiment MM. Bourgeois et Moll. Dans un autre essai, rapporté page 62, la résistance du *Rattler* à la vitesse de 10 nœuds fut trouvée de 25 lbs par pied carré de la section immergée ou 122^k par mètre carré; mais pendant cet essai la marche du navire était légèrement favorisée par le vent, quoique les voiles ne fussent pas établies.

L'âire des quatre pistons du *Rattler* est de 5058 pouces carrés ou $3^{m.q},262$ et la longueur de la course est $1^m,220$. Lors du premier essai avec *l'Alecto*, la pression totale non balancée sur les pistons était 12,99 lbs ou $0^k,912$ par centimètre carré; la vitesse des pistons 58 mètres par minute, celle du nnvire 9,2 nœuds et le recul 10,2 pour cent; ce qui donnait 10,2 nœuds pour la vitesse de l'hélice, supposée tourner dans un écrou solide. Si comme plus haut nous prenons 6075,6 pieds, ou 1852^m pour un nœud, la vitesse avec laquelle l'hélice pousserait le navire, si elle tournait dans un écrou, ou en d'autres mots, l'avance de l'hélice sera de 62092 pieds par heure on 18938^m, c'est-à-dire 1034,86 pieds par minute ou $315^m,61$. Maintenant la pression totale ou effective sur les pistons est $5058 \times 12,99 = 65703,41$ lbs ou $29762^k,645$, et cette pression agit nvec une vitesse de 190 pieds ou $57^m,75$ par minute, ce qui est éqnivalent à 12064,4 lbs ou $5465^k,17$, transporté à 1034,8 pieds ou $315^m,6$ par minute. Celn représente par conséquent un effet sur l'arbre de l'hélice de 5,38 tonneaux ou 5464^k, tandis que la poussée réelle montrée par le dynamomètre est 3,9 tonneaux ou 3961^k; de sorte qu'environ un quart de la force motrice est dépensé à vaincre les frottements de la machine et de l'hélice. De plus, dans le cours de la troisième expérience rapportée à la page 62, lorsqne la vitesse était 10 nœuds, le recul était 11,2 pour cent, de sorte que l'avance de l'hélice était 11,12 nœuds par heure, ou $1124,3445^{pieds}$ par minute ou $342^m,92$. La pression effective sur les pistons était 13,07 lbs par pouce carré, ou $0^k,916$ par centimètre carré, de sorte que la pression totale était de 66 108 lbs ou 29 973^k. La vitesse du piston était 208 pieds par minute ou $63^m,44$ et $\frac{66108 \times 208}{1124,3445} = 12\,229$ lbs

ou 5571k, qui auraient exprimé la pression par le dynamomètre si la machine et l'hélice n'avaient pas de frottement. La poussée réelle du dynamomètre était 4,21 tonneaux ou 4276k : de sorte que dans ce cas, il y a aussi environ un quart de la force motrice perdue par les frottements de la machine et de l'hélice.

J'ai établi plus haut que les résultats des expériences faites psr M. Murray, sur le vapeur *le Dwarf*, pour déterminer la poussée exercée par différentes hélices, ne méritaient pas de confiance, en ce qu'il y a des erreurs manifestes dans les pressions données par le dynamomètre. Une récapitulation de ces expériences est donnée à la page 85, et il sera utile d'en faire ici une analyse, afin d'éviter d'être trompé par les erreurs de M. Murray. Il est à peu près évident, que si nous supposons que l'hélice tourne dans un écrou solide et que tout fonctionne sans frottement, la poussée qu'elle exerce avec une pression donnée sur les pistons dépend des vitesses relatives des pistons et de l'hélice; ou, en d'autres mots, c'est une question de vitesses virtuelles, comme dans le cric, la presse à vis, ou toute autre combinaison mécanique. Ainsi, avec une pression déterminée sur les pistons et un pas donné pour l'hélice, la poussée sera calculée d'une manière, que j'ai nommée poussée théorique; l'effet des frottements sera de diminuer cette dernière, et dans aucun cas elle ne pourra être augmentée. Par conséquent sur tous les uavires à hélice la poussée réelle est beaucoup plus petite que la poussée théorique; mais dans les expériences du *Dwarf*, elle est dans beaucoup de cas portée plus grande, et comme ce résultat est impossible, il est clair qu'il ne saurait être admis. J'ai calculé la poussée théorique de toutes ces expériences, et j'arrive à une approximation de la poussée réelle en opérant pour le frottement une déduction égale à celle que j'ai trouvée convensble dans d'autres esssis. Ce calcul est donné dans la table suivante :

ANALYSE DES EXPÉRIENCES FAITES SUR LE VAPEUR DE S. M. *LE DWARF*.

NUMÉROS des expériences.	PAS des hélices	RAPPORT des engrenages.	PRESSION sur le piston montrée par l'indicateur.	PRESSION équivalente si elle agissait directement sur l'arbre.	POUSSÉE théorique de l'arbre sur le dynamomètre.	POUSSÉE de l'arbre mesurée par le dynamomètre	POUSSÉE probable de l'arbre par le dynamomètre, environ.
	m		k° par c° q.	k° par c° q.	k	k	k
1	2,440	5,16	0,797	0,154	1664	1381	1299
2	2,440	5,16	0,866	0,168	1847	1568	1390
3	2,440	5,16	0,786	0,152	1644	1439	1238
4	2,440	5,16	0,888	0,175	1898	1539	1421
5	3,147	4,00	0,819	0,202	1695	1079	1269
6	3,147	4,00	0,765	0,190	1593	971	1198
7	3,147	4,00	0,761	0,190	1593	850	1198
8	3,147	4,00	0,804	0,200	1675	928	1248
9	4,035	3,13	0,766	0,244	1593	1192	1198
10	4,035	3,13	0,759	0,241	1583	1373	1187
11	4,035	3,13	0,760	0,242	1583	1764	1187
12	4,035	3,13	0,805	0,256	1675	1769	1248
13	4,035	4,00	0,944	0,248	1624	1808	1218
14	4,035	4,00	0,950	0,237	1543	1786	1157
15	4,035	4,00	0,835	0,194	1269	1713	954
16	4,035	4,00	0,837	0,213	1390	1962	1045
17	4,035	5,16	0,944	0,180	1177	1668	880
18	4,035	5,16	0,998	0,192	1259	1648	944
19	3,147	5,16	1,015	0,196	1279	1757	964
20	3,147	5,16	1,018	0,196	1289	1736	964
21	3,147	5,16	0,970	0,195	1624	2018	1248
22	3,147	5,16	0,931	0,180	1533	1940	1147
23	3,147	5,16	0,879	0,192	1451	1973	1080
24	3,147	5,16	0,917	0,177	1482	1972	1146
25	3,147	5,16	0,813	0,155	1299	1838	976

L'aire des cylindres du *Dwarf* est de 2513,2 pouces carrés, $1^{m.q},620$, qui multipliés par 2,20 lbs de pression par pouce ou $0^{k},154$ par centimètre, donneraient la même quantité de force si la machine était directement articulée à l'arbre de l'hélice, que 11,36 lbs ou $0^{k},797$ le feraient avec l'intermédiaire d'un engrenage, dans le rapport de 5,16 à 1. Cette pression a pour résultat 2,47 tons ou 2507^{k}, en supposant que l'hélice avance de deux fois la longueur de la course du piston, c'est-à-dire de 64 pouces, ou $1^{m},624$ pour chaque révolution. D'après cette supposition, telle serait la poussée théorique de l'arbre dans la première expérience. Mais l'hélice avance de 8 pieds ou 96 pouces, $2^{m},44$ à chaque

tour, la poussée doit être conséquemment réduite dans le rapport de 64 à 96, et elle devient 1,65 ton ou 1665k. La section immergée du *Dwarf* au tirant d'eau moyen de 1m,957 est d'environ 5m.q,572; et si nous supposons que la poussée est diminuée d'un quart par le frottement de la machine et de l'hélice, la résistance par pied carré de la section immergée, sera environ 45,8 lbs par pied carré, ou 223k par mètre carré, ce qui présente le double de la résistance du *Rattler*, quoique la vitesse soit à peu près la même, ou même un peu moins grande. Ce résultat confirme le principe avancé plus haut sur la plus grande résistance proportionnelle des petits navires que des grands. Les petits bâtiments ont une surface frottante plus étendue ; et dans le cas de navires de formes semblables, mais de dimensions différentes, il faut, pour que la résistance par mètre carré de la maîtresse section soit la même, que les vitesses varient comme les racines carrées des dimensions linéaires : le plus grand navire marchant le plus vite.

Dans les expériences de *la Minx*, citées à la page 86, nous trouvons que les résultats présentent une confirmation des déductions précédentes. L'aire des deux cylindres de *la Minx* est de 1815,84 pouces carrés, ou 1m.q,171; la longueur de la course double est 1m,677, et le rapport des engrenages est 4. Si nous prenons pour comparaison l'expérience du 30 juin 1848, avec l'hélice de Smith, à pas uniforme, nous trouvons que la pression dans les cylindres est de 11,891 lbs par pouce carré, ou 0k,835 par centimètre carré, ce qui donne 21592,15 lbs, ou 9777k,21 pour la pression totale poussant les pistons. Cela équivaut à une force motrice de 5398,4 lbs, ou 2445k,47, agissant directement sur l'hélice; mais comme la longueur de la double course est de 66 pouces, 1m,676, et le pas de l'hélice de 70, ou 1m,778, cette pression doit être diminuée dans la proportion de 66 à 70, afin de donner la poussée théorique de l'arbre de l'hélice. Effectuant l'opération indiquée, nous trouverons que cette dernière est de 5089,5 lbs ou 2,27 tons, c'est-à-dire 2306k, et si une déduction d'un quart est faite pour les frottements, comme dans les cas précédents, la poussée réelle sera par ce mode d'estimation de 3817 ou 1,7 ton, ou 1726k. La poussée réelle indiquée par le dynamomètre, pendant les expériences, est de 1,52 ton, ou 1544k; de sorte que d'après cet exemple la quantité de force dépensée par le frottement et le recul latéral, est un peu plus d'un quart de la puissance motrice, comme il était facile de le prévoir à cause de la plus grande rapidité de rotation de l'hélice relativement à la distance parcou-

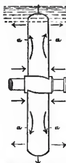
rue par le navire. Je suis persuadé qu'à bord du *Faon*, de *la Fairy* et du *Dwarf*, le frottement de l'bélice et des machines emploie inutilement plus du quart de la force motrice : et dans tons les cas, il augmentera lorsque la rotation de l'hélice sera plns rapide. L'aire de la section immergée de *la Minx* est au tirant d'eau moyen de 1^m,60, conservé pendant les expériences dont il est question, de 83 pieds carrés, 7$^{m.q}$,709, ce qui donne pour la résistance par pied carré 46 lbs, ou 224^k par mètre carré, si on estime la poussée réelle égale aux trois quarts de la poussée théoriqne, et 41 lbs, on 200^k par mètre carré, si on admet celle réellement donnée par le dynamomètre. Le diamètre de l'hélice est de 4 ½ pieds, 1^m,372, l'aire du disque est de 15,9 pieds carrés, 1$^{m.q}$,477, et la poussée mesnrée par le dynamomètre est 214 lbs par pied carré dn disque de l'bélice on 1044^k,3 par mètre carré.

D'après nn rapport adressé au ministre de la marine, il paraît que pendant 226 voyages du *Faon*, entre Donvres et Calais, exécutés en 1847, 1848 et 1849, la vitesse moyenne réalisée par toutes sortes de temps, est de 12,3 nœuds par beure. La moyenne des maxima des différents mois est 14,82 nœuds, et celle des minima est de 8,76. Si le navire avait eu des roues à aubes, la vitesse maximum aurait été au moins aussi grande, celle minimum anrait été moins petite et la consommation de combnstible serait moindre, lorsqne le navire lntterait contre des vents contraires. Pour nn court trajet, la grande consommation proportionnelle de combustible sur les navires à bélice, lorsqu'ils ont vent debout, est d'une petite importance comparative; mais pour de longs voyages c'est une question vitale, et je pense que cette raison les rend impropres aux services de poste importants vers des contrées éloignées, du moins dans l'état actuel de leur construction. Les navires destinés à de tels services doivent être préparés à marcber avec une vitesse considérable contre des vents debout violents, et ceux à bélice exigeraient le transport d'une plus grande réserve de cbarbon que ceux à roues à aubes, dans la proportion de leur plus grande consommation de cbarbon par heure, lorsqu'ils rencontrent un vent contraire. La déconverte d'un moyen de corriger cette imperfection des navires à hélice est probablement le problème le plus important pour leur perfectionnement, et je dirai ici de qnelle manière ce défaut serait évité.

Quand une bélice est mise en révolution snr nn navire stationnaire, elle agit à peu près comme nn ventilateur centrifuge, et l'eau attirée au centre de chaqne côté est repoussée en dehors de la circonférence ainsi

qu'autour d'elle, comme dans la pompe centrifuge ou tel autre appareil semblable. Elle suivra, par le fait, à peu près la direction indiquée par les flèches de la figure 11, et à certains points, tels que *a*, *a*, le courant entrant et celui sortant se balanceront l'un l'autre, et l'eau sera stationnaire, excepté dans la direction radiale. Pour mettre l'hélice dans les conditions, où elle se trouve quand le navire est sous voiles, il faut la faire traverser par un courant d'eau, et si nous supposons qu'une pompe, installée dans le navire, pousse une colonne d'eau du diamètre de l'hélice elle-même, et avec la vitesse de la marche habituelle du navire, il est clair qu'il n'y aurait alors pas plus d'action centrifuge produite par les ailes, quand le navire est stationnaire, que lorsqu'il marche. Toutefois, un tel courant, même s'il était convenablement dirigé, occasionnerait une grande dépense inutile de force, et le principal objet à tenter est d'augmenter la difficulté d'imprimer un mouvement centrifuge, et de s'arranger de manière que toute vitesse de l'eau dans cette direction tourne au profit de l'impulsion du navire. Le meilleur moyen d'atteindre ce but serait de plonger profondément l'hélice et de la placer plus sur l'avant qu'on ne l'a fait jusqu'à présent. Il est évident que si elle est située de la sorte, il lui faudra une grande vitesse de rotation pour vaincre l'inertie de l'eau placée au-dessus; et comme elle sera cependant remuée jusqu'à un certain point, elle favorisera la marche du navire avec une force considérable en faisant monter son arrière sur le plan incliné élevé ainsi sur son parcours. Je pense qu'en général deux hélices valent mieux qu'une : elles permettent de trouver à une plus grande profondeur l'aire de propulsion nécessaire, de sorte qu'une plus petite surface du disque deviendrait suffisante, et qu'il y aurait par conséquent moins de frottement. Je pense que deux hélices de cinq pieds de diamètre chacune auraient la même efficacité de propulsion qu'une hélice de 10 pieds de diamètre, quoiqu'elles n'aient que la moitié de l'aire de celle-ci, et en les supposant placées le plus bas possible sur des navires de même tirant d'eau. Par conséquent, lorsqu'il n'y a pas d'obstacle à l'emploi de grands tirants d'eau, une hélice acquerrait une forte utilisation, même avec un petit diamètre, en construisant un navire un massif arrière très-élevé, et en y plaçant l'hélice plus sur l'avant. Je pense que des navires construits sur ce principe seront capa-

Fig. 11.



bles de lutter contre des vents debout, aussi bien que ceux à roues, et peut-être même avec plus de succès, et je ne vois aucun empêchement pratique au mode de construction que je recommande. Sur les navires en fer deux hélices seraient facilement appliquées, en soutenant les extrémités des arbres par des saillies, ou par des supports en tôle construits avec le navire, et qui éprouveraient très-peu de résistance à traverser l'eau, s'ils étaient assez aigus devant et derrière, et s'ils étaient établis sur un angle tel, qu'ils se trouvent dans la direction que l'eau suit naturellement en entrant dans les façons du navire.

Pour déterminer la quantité de force nécessaire pour traverser l'eau avec une vitesse donnée, il faut d'abord établir le type du navire et ensuite sa dimension. Cela admis, il est aisé de chercher dans la table de l'appendice un navire d'une forme à peu près semblable à celle dont on s'occupe, et d'en conclure quelle est la force nécessaire pour lui imprimer la vitesse voulue. Le coefficient d'utilisation du navire auquel ressemble celui dont on s'occupe sera trouvé dans la table III de l'appendice, et le nombre de chevaux nécessaire pour obtenir la vitesse déterminée, sera calculé en multipliant le cube de cette vitesse par le nombre de mètres carrés de la maîtresse section immergée et divisée par le coefficient qui se rapporte au cas dont on s'occupe. Ce calcul est fait dans la supposition que ces deux navires sont de la même dimension : mais si celui dont il est question est plus petit que le type, la vitesse sera moindre, et s'il est plus grand, elle le sera aussi; le résultat donné par le calcul sera modifié dans le rapport de la racine carrée de la longueur ou de l'une des dimensions linéaires des deux navires. Si S est la vitesse du navire en nœuds, A l'aire de la maîtresse section immergée : C un coefficient numérique variant suivant la forme du navire et P la puissance par l'indicateur : on a

$$P = \frac{S^3A}{C}, \quad C = \frac{S^3A}{P} \quad \text{et} \quad S = \sqrt[3]{\frac{PC}{A}}.$$

Au moyen de ces équations on déterminera approximativement la quantité de force nécessaire pour obtenir un sillage indiqué S. Cependant, si la nouvelle vitesse calculée est plus grande que l'ancienne, celle obtenue réellement sera un peu plus petite que le résultat de ce procédé théorique, car cette règle est basée sur la supposition, que les résistances changent comme les carrés des vitesses, tandis qu'avec des navires de formes modérément fines, elles varient dans un rapport un peu plus grand, comme on l'a expliqué plus haut, page 96.

Pour montrer l'influence de la dimension sur la résistance ou sur la vitesse des navires, je comparerai l'utilisation de *la Minx* à celle du *Rattler*; ces deux navires ont des formes à peu près aussi fines, mais ils sont sur des échelles différentes, ainsi que leur immersion comparée à leur grandeur. La longueur de *la Minx* est 39^m,95, sa largeur 6^m,76. La longueur du *Rattler* est 53^m,83, sa largeur 10^m,01. Le tirant d'eau du *Rattler* est plus du double de celui de *la Minx*, de sorte que celle-ci a la plus grande surface frottante par pied carré de la maîtresse section immergée. A une vitesse de 10 nœuds, la résistance du *Rattler* a été trouvée par le dynamomètre de 25 lbs par pied carré de la maîtresse section immergée, ou 122^k par mètre carré, et à une vitesse de 8,445 nœuds, la résistance de *la Minx* a été mesurée de 41 livres par pied carré, ou 200^k,07 par mètre carré. Si on suppose que la résistance augmente comme le carré de la vitesse, celle par pied carré de la maîtresse section de *la Minx* serait de 71 $\frac{1}{2}$ livres, ou 348^k,9 par mètre carré à la vitesse de 10 nœuds. Cela est beaucoup plus qu'on ne l'eût trouvé si les bâtiments avaient eu exactement la même forme. La section immergée de *la Minx*, dans l'expérience à laquelle se rapporte celle par le dynamomètre, était de 83 pieds carrés, dont la racine carrée est 9,1. La section immergée du *Rattler* était environ de 380, dont la racine carrée est 19,4. Dans les navires de formes semblables, la racine carrée de la surface de la section immergée varie en raison de l'une des dimensions linéaires et la vitesse change par conséquent en raison inverse de la racine carrée de cette dimension. Mais si la vitesse varie comme la racine carrée d'une dimension et la résistance comme le carré de la vitesse, la résistance variera comme cette dimension. Par conséquent, dans des navires semblables, la résistance changera en raison inverse de la racine carrée de la surface de la section, ou comme 19,4 à 9,1, c'est-à-dire comme 2,13 à 1 dans le cas qui nous occupe. D'après ce mode de calculer la résistance de *la Minx*, serait de 53,25 livres ou 259^k,85 par mètre carré, tandis qu'il paraît qu'elle est plutôt 71,5 livres, ou 348^k,9. On peut déduire de là que les navires plats et de peu de tirant d'eau sont très-difficiles à faire avancer, et que le périmètre, ou ligne extérieure de la section transversale en contact de l'eau, doit avoir le moins de longueur possible.

Je vais maintenant chercher quelle serait la vitesse d'un navire de la forme de *la Fairy*, ayant la même proportion de la puissance au tonnage, mais dont la longueur serait triple, et dont par conséquent la

maîtresse section serait 9 fois aussi grande, la capacité 27 fois et la puissance 9 fois. La longueur d'un tel bâtiment serait 434 pieds (132^{m},37), la largeur 63 pieds 4 pouces ½ (19^{m},31), le tirant d'eau 16 ½ pieds (5^{m},032); l'aire de la maîtresse section 729 pieds carrés (67^{mq},72) et la puissance motrice 1080 chevaux. Comme la longueur de *la Fairy* et du nouveau navire sont dans le rapport de 1 à 3, les vitesses seront en raison de la racine carrée de 1 à celle de 3, c'est-à-dire que le grand navire aura 1,73 fois plus de vitesse que le petit. Par conséquent, si celle de *la Fairy* est de 13 nœuds, celle du grand navire serait de 22,49 nœuds, quoique la proportion de la puissance motrice à la maîtresse section soit exactement la même dans les deux navires. S'il fallait amener la vitesse de *la Fairy* elle-même à 22 nœuds, la puissance devrait être augmentée dans la proportion du cube de 13 au cube de 22,49 ou 5,2 fois, ce qui porterait à 624 chevaux la forco nécessaire pour obtenir ce sillage rapide sur *la Fairy*.

CHAPITRE VII.

NAVIRES A HÉLICE MIXTES, OU A PUISSANCE AUXILIAIRE.

De toutes les applications de l'hélice, la plus utile est, d'après mon opinion, celle qui en a été faite à bord des navires à voiles, et si en réalité cette sorte de navigation permet de transporter à un prix moins élevé et plus rapidement des marchandises qu'avec les bâtiments à voiles ordinaires, la conclusion inévitable est que le commerce du monde sera fait désormais par des navires de cette nature. Il est certes facile de comprendre qu'une puissance mécanique, servant à accélérer la marche d'un navire à voiles, fait exécuter beaucoup plus de voyages dans le même temps, et que cela peut arriver au point d'augmenter les profits des transports, au delà de ce que coûte l'addition de la machine à vapeur. Si des résultats pratiques établissent clairement ce fait, les navires possédant ces avantages seront nécessairement appelés à remplacer les anciens. Ce n'est pas seulement en calme que cette force est utilement employée; mais aussi avec des brises légères du travers, elle transporte le navire lui-même et permet ainsi aux voiles d'intercepter un nouveau courant d'air : avec les brises fraîches, la machine en diminuant virtuellement la résistance de la coque, permet de mieux utiliser l'effet du vent, et cela en empêchant l'air d'être, pour ainsi dire, repoussé par les voiles. Par conséquent, une hélice auxiliaire n'agit pas seulement en aidant la marche, par sa propre impulsion; mais en outre, elle y coopère en permettant aux voiles d'agir d'une manière plus efficace. Un fort vent soufflant sur le côté d'une maison ne donne aucune puissance motrice à cette maison, et une brise fraîche poussant les voiles d'un navire de marche lente ne lui en donne que très-peu; elle est repoussée de la surface de la voile presque avec sa vitesse première. La puissance communiquée à un navire par les voiles dépend conjointement de la quantité de pression exercée sur ces surfaces et de l'espace parcouru dans un temps donné : si la marche est très-lente, la force donnée sera très-petite, quelle que soit la pression produite par le vent. Par conséquent, si le navire est déjà mis en mouvement par la machine à vapeur, la pression du vent agit pendant un long espace dans

un temps donné, et l'efficacité des voiles est augmentée en proportion de l'accroissement de vitesse. De plus, il en résulte que l'impulsion des voiles fait agir l'hélice d'une manière plus avantageuse; car la vitesse du navire étant augmentée par l'influence du vent, l'hélice presse sur un plus grand volume d'eau, et de la sorte son recul est diminué. Si un navire lutte contre un vent debout, il en résulte que la diminution de vitesse force l'hélice à tourner plus longtemps dans la même eau : dès lors, cette eau, qui n'a plus d'inertie pour résister à l'impulsion, est remuée par les ailes comme par celles d'un ventilateur, et le filet de vis, qui devrait être tracé dans le liquide se trouve rompu : il en résulte nécessairement beaucoup de recul. Mais quand la marche est favorisée par le vent, ces conditions sont renversées, et l'hélice fonctionne d'une meilleure manière que si les voiles ne l'aidaient pas. Par conséquent, sur la plupart des navires pourvus d'une hélice auxiliaire, les machines sont constamment maintenues en action, qu'il fasse calme, ou que le vent se trouve favorable ou contraire : car le propulseur permet aux voiles de mieux utiliser la force d'une bonne brise fraîche, et avec les vents debout il fait serrer davantage le vent. Ces deux effets sont également avantageux en augmentant la dimension du navire; car un tel accroissement a précisément la même influence que l'emploi d'une hélice auxiliaire, autant que le navire est sous voiles. La combinaison des deux moyens présentera donc les meilleurs résultats, et de très-grands navires à voiles de formes très-fines, mais aidés par une puissance auxiliaire modérée, obtiendront autant de vitesse que des navires à roues ordinaires de petite dimension, mais d'une beaucoup plus grande proportion de la puissance au tonnage. Cela se présentera dans toutes les circonstances de la navigation, excepté celle du vent contraire. Je pense cependant qu'il est possible de construire des navires à voiles capables de marcher directement contre le vent, et par la suite ce perfectionnement se réalisera sans doute. Alors les voyages s'effectueront sans louvoyer, comme le font maintenant les bâtiments à roues à aubes d'une grande puissance, et l'hélice fera naviguer avec le même avantage, quelle que soit la direction du vent relativement à celle de la route.

A l'époque de l'apparition des navires à hélice j'établis une appréciation des dépenses comparatives pour le transport d'une même quantité de marchandise sur les navires à roues à grande puissance et sur ceux à hélice à force auxiliaire : et j'arrivai à conclure qu'il fallait abandonner pour le commerce des côtes les navires à roues ayant une grande

proportion de la puissance au tonnage. L'établissement de lignes de chemin de fer le long des côtes a éloigné de ces bâtiments beaucoup de passagers de première classe, ainsi que les marchandises de valeur, pour lesquelles seules un transport prompt a de l'importance. Il en est résulté que les navires à hélice, ayant une vitesse un peu moindre, mais étant capables de tirer profit d'un fret trop bas, pour permettre au navire à roues de faire leur service, sont seuls en position de réussir, et bientôt il n'y aura pas d'autre sorte de bâtiment en usage pour le genre de navigation dont nous parlons. Ces idées ont été confirmées depuis cette époque par le grand accroissement du nombre de navires à hélice et par leur adoption graduelle à la place de ceux à roues, pour le cabotage et tous les autres commerces du même genre. Excepté pour la navigation des rivières ou pour le transport de dépêches importantes, les navires à roues paraissent devoir n'être plus connus bientôt que dans l'histoire de la navigation à vapeur. Voici cette appréciation, et quoiqu'il y ait eu depuis des perfectionnements et de l'expérience acquise, je ne crois pas qu'il y ait lieu de la changer.

DÉPENSE COMPARATIVE DU TRANSPORT DES MARCHANDISES PAR LES NAVIRES A ROUES A GRANDE PUISSANCE ET PAR CEUX A HÉLICE A FORCE AUXILIAIRE.

Si un navire à roues de 1000 tonneaux et de 350 chevaux de force, et un bâtiment à hélice de 300 tonneaux (ancien tonnage anglais) et de 50 chevaux de force sont employés chacun à exécuter un voyage de 500 milles, celui à roues fera la traversée en 45 heures $\frac{1}{2}$ environ, et portera 400 tonneaux de marchandises en sus de sa machine et de son charbon; le bâtiment à hélice exécutera le trajet en 62 heures en portant 400 tonneaux de cargaison outre sa machine et son charbon. Chaque navire sera capable de faire un voyage double par semaine ou 104 traversées par an. La dépense première du navire à roues sera environ 40000 lib. (1 000 000 fr.), et celle du bâtiment à hélice, environ 250 000 fr. Sur le navire à roues, les gages et l'échelle des dépenses sont plus élevés que sur celui à hélice, qui se rapproche davantage de la nature d'un caboteur. La dépense approximative de chaque sorte de navire sera comme suit :

NAVIRE A ROUES.

		Par an. fr.	Par traversée.
Usure et entretien,	10 pour 100 sur 1 000 000	100 000	
Dépréciation,	5 pour 100	50 000	
Assurance,	5 pour 100	50 000	fr. c. 2403,75
Intérêt.	5 pour 100	50 000	
		250 000	

	Par mois. fr. c.	Par traversée
Capitaine, 625 fr. par mois, et 7 fr. 50 c. par jour pour la table	835,00	
Deux officiers, le 1er 175 fr., le 2e 100 fr. par mois, et 4 fr. 15 c. par jour pour la table	555,00	
Deux quartiers-maîtres, à 75 fr. par mois, et 1 fr. 85 c. par jour pour les vivres	255,00	
Dix matelots, à 62 fr. 50 c. par mois, et 1 fr. 85 c. par jour pour les vivres	1450,00	
Un charpentier, à 125 fr. par mois, et 1 fr. 85 c. par jour pour les vivres	177,50	
Trois apprentis, à 20 fr. par mois, et 1 fr. 85 c. par jour pour les vivres	217,50	fr. c. 663,75
Onze chauffeurs et soutiers, à 75 fr. par mois, et 1 fr. 85 c. par jour pour les vivres	1102,50	
Deux mécaniciens, le 1er à 300 fr. par mois, le 2e à 200 fr., et 4 fr. 35 c. par jour pour les vivres	720,00	
Gages et vivres par mois	5312,50	

NAVIRE A HÉLICE.

		Par an. fr.	Par voyage
Usure et entretien,	10 pour 100 sur 250 000	25 000	
Dépréciation,	5 pour 100	12 500	
Assurance,	5 pour 100	12 500	fr. c. 600,90
Intérêt,	5 pour 100	12 500	
		62 500	

	Par mois. fr. c.	Par voyage
Capitaine, 400 fr. par mois, et 6 fr. 25 c. de table par jour	575,00	
Officier, 100 fr. par mois, et 4 fr. 15 c. de table par jour	223,10	
Six matelots, à 62 fr. 50 c. par mois, et 1 fr. 85 c. de vivres par jour	690,00	
Un apprenti, à 20 fr. par mois, et 1 fr. 85 c. de vivres par jour	72,50	fr. c. 283.40
Un mécanicien, à 200 fr. par mois, et 4 fr. 35 c. de vivres par jour	323,10	
Trois chauffeurs et soutiers, à 75 fr. par mois, et 1 fr. 85 c. de vivres par jour	382,50	
Gages et vivres par mois	2266,20	

RÉSUMÉ DES DÉPENSES.

NAVIRE A ROUES.	Par voyage. fr. c.	NAVIRE A HÉLICE.	Par voyage. fr. c.
Usure, entretien, dépréciation	2403,75	Usure, entretien, dépréciation	600,90
Gages et vivres	663,75	Gages et vivres	282,40
Charbon ; 60 tonneaux à 18,75	1125,00	Charbon ; 15 tonneaux à 18,75	281,25
Huile et suif	125,00	Huile et suif	25,00
Droits de ports et de phares	175,00	Droits de ports et de phares	200,00
Objets divers du navire	175,00	Objets divers du navire	125,00
	4967,50		1515,55

On voit, d'après cet exposé, qu'il coûtera 4967 fr. pour transporter 400 tonneaux de marchandises à une distance de 500 milles par le navire à roues à grande puissance; tandis que par celui à hélice à force auxiliaire, le même transport à une distance égale ne coûtera que 1516 fr. La vitesse moyenne du navire à roues sera 11 milles à l'heure, et celle du bâtiment à hélice, 8 milles.

Les dépenses du navire à roues portées ci-dessus ont été vérifiées, en les comparant à celles de bâtiments de dimensions égales, appartenant à la compagnie orientale péninsulaire, et en corrigeant les différences de prix du charbon et autres circonstances analogues. Les dépenses du bâtiment à hélice n'ont pas été confirmées de la même manière relativement à un exemple pratique. Mais l'année dernière deux navires semblables ont fait un service de 500 milles de parcours, et voici leurs dimensions, leurs résultats, ainsi que les dépenses de leur construction et de leur entretien.

Ces navires ont environ 424 tonneaux (ancien tonnage anglais) et 100 chevaux de puissance motrice. Ils coûtent chacun à peu près 200 000 francs, et sont capables de transporter 400 tonneaux de chargement à une vitesse de 9 nœuds à l'heure; ils ont souvent fait leur voyage en 52 heures. Ils établissent une communication hebdomadaire; de sorte que chacun fait un voyage par semaine. Mais, s'il le fallait, chacun d'eux exécuterait l'allée et le retour, et en supposant qu'un seul navire fasse ainsi un voyage complet par semaine, voici quelles en seraient les dépenses :

	fr. c.	Dépenses diverses.	fr. c.
Capitaine	78,75	Droits de phares	151,35
Officier	52,50	Droits de ports	50,00
2ᵉ officier	37,50	Pilotage	77,50
Charpentier	31,25	Batelier	15,60
Cuisinier	31,25	Nettoyage des foyers	6,25
2 quartiers-maîtres	58,75	Transport des cendres	6,25
4 matelots	105,00	Eau	9,35
2 mousses	20,00	Objets pour la machine	150,00
1ᵉʳ mécanicien	78,75	Charbon	875,00
2ᵉ mécanicien	52,50		1345,50
4 chauffeurs	105,00		
1 soutier	29,35		
	680,60		

	Par an. fr.	Par voyage. fr. c.
Usure et entretien, 10 pour 100	20 000	961,45
Dépréciation, 5 pour 100	10 000	
Assurance, 5 pour 100	10 000	
Intérêt, 5 pour 100	10 000	

RÉSUMÉ DES DÉPENSES.

	Par voyage.	Par traversée.
	fr. c.	fr. c.
Gages	680,60	340,30
Dépenses courantes	1345,00	672,50
Usure et entretien	961,45	480,72
	2987,05	1493,57

D'après cela, il paraît que le transport de 400 tonneaux à une distance de 500 milles, coûte 1493 fr. au lieu de 1345[1] de ma première estimation, mais il est effectué un peu plus promptement que je ne l'admettais. Si le navire à hélice transporte 400 tonneaux de marchandises à 500 milles pour environ 1500 francs, il portera 400 tonneaux à 1 mille de distance pour 3 fr., et un tonneau à 1 mille pour 0f,0075. Ce prix est beaucoup inférieur à celui des chemins de fer, et il ne paraît pas y avoir la plus petite probabilité de croire que ces derniers remplaceront le cabotage pour les marchandises pesantes. Sur les chemins de fer 0f,10 par tonneau et par mille est reconnu très-cher, et sur les lignes de 500 milles de longueur les navires à hélice peuvent opérer le transport sans perte au dixième de ce taux.

Les navires à hélice, dont nous avons parlé, ont remplacé des bâtiments à voiles, faisant un service hebdomadaire entre les mêmes ports. Par conséquent, il est facile d'établir une comparaison suffisamment exacte de la dépense du transport par chacun de ces modes de communication sur des navires de dimensions semblables. Les bâtiments à voiles étaient de 150 tonneaux (ancien tonnage anglais), mais portaient environ 250 tonneaux de chargement. Il en fallait cinq pour assurer une communication hebdomadaire, et la durée moyenne des voyages était 35 jours. De tels navires seraient payés à peu près 300 fr. par tonneau à l'époque actuelle; et comme ce genre de bâtiment coûte beaucoup plus, la dépense totale des cinq paquebots serait 225 000 fr. C'est plus que ne coûte un des navires à vapeur, que nous avons vu être capable de faire le même service à lui seul. La dépense de chacun des navires à voiles par voyage était de

1. Cette estimation ne comprend pas la dépense de charger et décharger, qui est évaluée à 0 fr. 60 c. par tonneau, ou 1 fr. 20 c. pour embarquer et débarquer.

SOLDE.

	fr. c.
1 capitaine	200,00
1 lieutenant	131,25
1 charpentier	125,00
1 cuisinier	112,50
1 second lieutenant	106,25
4 matelots	400,00
4 novices	75,00
	1150,00

DÉPENSES DIVERSES.

	fr. c.
Vivres pour 13 hommes, à 1 fr. 85 c. par jour	663,50
Pilotage et approvisionnement	68,75
Pilotage et remorquage	100,00
Droits de phares et de ports	142,70
	974,95

COMPTE DU CAPITAL.

		Par an. fr.	Par voyage fr. c.
Usure et entretien,	10 pour 100	22 500	1079,30
Dépréciation,	5 pour 100	11 250	
Assurance,	5 pour 100	11 250	
Intérêt,	5 poor 100	11 250	

RÉSUMÉ DES DÉPENSES.

	Par voyage. fr. c.	Par traversée. fr. c.
Solde	1150,00	575,00
Dépenses diverses	975,00	487,50
Usure, entretien, etc	1079,25	539,60
	3204,25	1602,10

Il résulte de ce qui précède que les dépenses par voyage d'un navire à voiles sont réellement plus grandes que celles d'un bâtiment à hélice. Mais le premier ne porte que 250 tonneaux, tandis que le second en prend 400, ce qui réduit encore le coût du transport. D'un autre côté le navire à hélice éprouvera parfois des retards pour se réparer tandis que les cinq bâtiments à voiles effectueront sans interruption la communication hebdomadaire. Le vapeur sera plus exposé aux accidents des abordages et s'ils ont lieu ils seront beaucoup plus graves pour lui. Prenant en considération toutes ces chances, il semble à peu près certain, qu'un vapeur du genre dont il est question, transportera les marchandises avec un tiers de moins de frais que des navires à voiles, tels que ceux dont on parle, et qu'il le fera beaucoup plus rapidement. L'assurance des navires à voiles est un peu plus élevée que celle des vapeurs à hélice, mais je l'ai portée au même taux, c'est-à-dire à 5 pour 100. Six pour cent sont un taux habituel, mais une compagnie ayant plusieurs navires, et les assurant elle-même, peut couvrir les risques par une redevance de 5 pour 100.

Les estimations précédentes sont confirmées par les résultats des expériences de M. Laming, sur le commerce entre Londres et Rotterdam, données dans son rapport au comité de la chambre des lords sur la traite des esclaves à la côte d'Afrique en 1850. Après avoir communiqué entre les deux ports mentionnés pendant nombre d'années avec des navires à voiles, on leur a substitué des bâtiments à hélice, ayant une assez faible puissance motrice, et M. Laming établit que, tandis qu'avec les premiers la dépense par tonneau de chargement était $40^{f},50$; elle a été réduite à $24^{f},35$ avec ceux à hélice. Voici les détails donnés par M. Laming à ce sujet :

NAVIRES A VOILES.

	LONDON.		*ALKMAAR.*		*HOPE*	
	136 tonneaux, nouveau tonnage, coûte à 500 fr par tonneau, 68 000 fr.		146 tonneaux, nouveau tonnage, coûte à 500 fr. par tonneau, 73 000 fr.		125 tonneaux, nouveau tonnage, coûte à 500 fr. par tonneau, 62 500 fr.	
Compte du Capital.	Par an. fr.	Par voyage 9 voyages par an.	Par an. fr.	Par voyage 9 voyages par an.	Par an fr.	Par voyage. 9 voyages par an.
Intérêt, 5 p. 100......	3400	fr. 1813,30	3650	fr. 1946,65	3125	fr 1666,65
Assurance, 6 p. 100...	4080		4380		3750	
Réparations, 5 p. 100..	3400		3650		3125	
Dépréciation, 8 p. 100.	5440		5840		5000	
	16320		17520		15000	
Dépense de service.	Dépense réelle par voyage.	Dépense moyenne par voyage	Dépense réelle par voyage.	Dépense moyenne par voyage	Dépense réelle par voyage.	Dépense moyenne par voyage.
Premier voyage......	fr. 4795,00	fr. 3860,25	fr 3860,40	fr. 3675,25	fr. 5256,35	fr. 3538,75
Second voyage.......	3472,25		3700,20		2934,55	
Troisième voyage.....	3137,70		3471,40		3404,65	
Quatrième voyage....	3165,60		3372,50		3126,65	
Cinquième voyage....	4725,60		3971,95		2974,55	

NAVIRES A HÉLICE.

CITÉ DE LONDRES.			CITÉ DE ROTTERDAM.		
166 tonneaux, nouveau tonnage, 30 chevaux, coûte 200 000 fr			156 tonneaux, nouveau tonnage, 30 chevaux de force, coûte 200 000 fr.		
Compte du Capital.	Par an. fr.	Par voyage. 44 voyages par an.	Compte du Capital.	Par an. fr.	Par voyage. 44 voyages par an
Intérêt, 5 p. 100......	10 000	fr. 954,50	Intérêt, 5 p. 100....	10 000	fr. 954,50
Assurance, 6 p. 100...	12 000		Assurance, 6 p. 100.	12 000	
Réparations, 5 p. 100..	10 000		Réparations, 5 p. 100.	10 000	
Dépréciation, 5 p. 100.	10 000		Dépréciation, 5 p. 100.	10 000	
Dépense du service.	Dépense réelle par voyage.	Dépense moyenne par voyage.	Dépense du service.	Dépense réelle par voyage.	Dépense moyenne par voyage.
	fr.			fr.	
Premier voyage......	2693,50	fr. 2807,75	Premier voyage.....	2493,30	fr. 2899,00
Deuxième voyage.....	2504,25		Deuxième voyage...	2640,30	
Troisième voyage....	2597,70		Troisième voyage...	3246,45	
Quatrième voyage....	2606,25		Quatrième voyage...	2616,85	
Cinquième voyage....	2717,50		Cinquième voyage...	3070,30	
Sixième voyage......	2490,00		Sixième voyage.....	3078,75	
Septième voyage.....	2990,00		Septième voyage....	2984,85	
Huitième voyage.....	3284,85		Huitième voyage....	2277,05	
Neuvième voyage.....	2960,50		Neuvième voyage...	2879,45	
Dixième voyage......	3004,05		Dixième voyage.....	3727,80	

DÉPENSE PAR TONNEAU ET PAR VOYAGE.

	NAVIRES A VOILES.			NAVIRES A HÉLICE.	
	Londres.	*Alkmaar.*	*Hope.*	*Cité de Londres.*	*Cité de Rotterdam.*
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Compte du capital....	13,30	13,30	13,30	6,05	6,05
Dépense du service...	28,30	25,15	28,28	17,98	18,52
	41,60	38,45	41,58	24,13	24,57
	Moyenne des navires à voiles......... 40,57			Moyenne des navires à hélice......... 24,35	

Les bâtiments *la Cité de Londres* et *la Cité de Rotterdam* ont la même grandeur et la même puissance motrice. Voici leurs principales dimensions : longueur entre perpendiculaires, 33^{m},70; longueur sur le

pont, 34^m,16; longueur totale, 37^m,97; longueur de la chambre de la machine, 3^m,812; largeur intérieure, 7^m,06; profondeur de dessus quille sous le pont, 3^m,58; charge en tonneaux, d'après la mesure des constructeurs, 275 $\frac{67}{94}$. Ces navires ont été construits par MM. Ditchburn et Marc de Blackwall, et la vitesse moyenne des six premières traversées était 8,128 milles marins à l'heure. Je pense que l'entretien et l'usure sont estimés trop bas par M. Laming, mais en résumé son expérience confirme la possibilité de transporter des marchandises à environ un tiers de frais de moins sur les navires à hélices que sur ceux à voiles de la même capacité, et en outre de le faire plus promptement. La vitesse moyenne obtenue par *la City of London*, dans des voyages d'une longueur totale de 13 327 milles marins, était 8 nœuds, sa plus grande vitesse sous voile et vapeur était 10 nœuds, et celle à la vapeur seule 7,5 nœuds. Sur *le lord John Russell* et *le sir Robert Peel*, deux navires semblables, mais un peu plus grands, le tonnage par la mesure des constructeurs, était 327 $\frac{91}{94}$, et la vitesse obtenue un peu meilleure. La moyenne de leurs voyages de 53 685 milles marins était 8,5 nœuds, leur plus grande vitesse, voiles et vapeur 10,5, et celle avec la vapeur seule 8,0. A bord du *Lord Auckland*, navire à hélice d'environ 450 tonneaux et 60 chevaux de puissance, la plus grande vitesse avec les deux moteurs réunis a été de 12 nœuds, et celle avec la vapeur seule de 9 nœuds. La vitesse moyenne obtenue par les bâtiments à hélice *Bosphorus*, *Hellespont* et *Propontis* sur la ligne entre Londres et Constantinople est montrée sur la table ci-jointe. Ces navires sont d'environ 530 tonneaux par la mesure des constructeurs, et 80 chevaux de puissance. Ils sont capables de porter 360 tonneaux de cargaison, et 120 tonneaux de charbon, ce qui équivaut à 12 jours de chauffe. La plus grande vitesse avec la vapeur et la voile n'a pas beaucoup différé de celle avec les voiles seules, et l'hélice désembrayée de manière à tourner librement dans la mer. Ce résultat provient nécessairement de l'accroissement rapide de la résistance avec de grandes vitesses : car, arrivé à des marches de 10 ou 11 nœuds, toute la poussée additionnelle qu'une hélice, mue par 80 chevaux, est capable d'imprimer, ne saurait ajouter sensiblement à la marche.

NAVIRES A HÉLICES ENTRE LONDRES ET CONSTANTINOPLE.

	BOSPHORUS.						*HELLESPONT.*				*PROPONTIS.*	
	1er voyage.		2e voyage.		3e voyage.		1er voyage.		2e voyage.		1er voyage.	
	Allée.	Retour.	Allée	Retour.	Allée.	Retour.	Allée.	Retour.	Allée.	Retour.	Allée.	Retour.
	j. h. m.	j. h. m.	j. h m	j. h. m.	j. h. m	j h. m	j h. m.	j h. m.	j h m	j. h. m	j. h m.	j. h. m.
Durée du trajet..	15 15 50	18 11 30	15 4 50	24 4 0	21 5 0	21 5 50	10 20 25	18 0 50	14 20 50	21 4 30	14 15 25	15 13 30
Séjour dans le port..........	1 14 30	10 23 30	1 11 0	10 10 0	1 9 0	11 17 30	2 15 35	13 10 5	1 11 0	11 20 0	2 21 30	14 13 0
Vitesse en nœuds.	8,02	5,50	5,51	5,86	5,58	5,07	7,83	7,20	8,40	6,65	8,43	8,55
Durée totale du voyage.........	j. h. m. 44 17 0		j. h. m. 62 8 30		j. h. m. 55 15 0		j. h. m. 51 4 30		j h. m. 40 5 20		j. h. m. 48 1 45	

Ces traversées ont 7,39 nœuds de vitesse moyenne, et elles eurent lieu pendant l'hiver.

En examinant les tables de loch de plusieurs autres navires à hélice de construction récente, je trouve que l'utilisation moyenne est égale à ce que je viens de dire. Ainsi, dans un voyage de *l'Arno*, de Liverpool à Gènes, commencé le 1er septembre 1851, je vois que la vitesse moyenne de Liverpool à Gibraltar est de près de 9 nœuds par le loch et presque sans l'aide des voiles. En se rendant à Gènes, le navire rencontra une grosse mer debout, et sa vitesse tomba à 6 nœuds; mais comme il embarqua de l'eau sur le pont, les machiues eurent leur puissance en partie diminuée par le registre, et le loch descendit à 5 nœuds. Dans un voyage du Frankfort, de Liverpool à Palerme, commencé vers la même époque, le 16 septembre 1851, je trouve que la vitesse moyeune par le loch entre Liverpool et Gibraltar est 10 nœuds. Entre Gibraltar et Gènes, avec très-peu de vent, la vitesse était de 9 nœuds; la même marche fut conservée jusqu'à Naples et Palerme. Pendant le retour, le sillage varia entre 8 $\frac{1}{2}$ et 11 nœuds, selon la force et la direction du vent, jusqu'après le détroit de Gibraltar; dans le golfe de Gascogne un grand vent et une très-grosse mer debout réduisirent la vitesse à 4 nœuds. Cependant avec si peu de vitesse, les machines donnaient le même nombre de coups de pistons que d'habitude. Lorsque la marche était de 10 nœuds, la machine faisait 50 révolutions par minute, et lorsque le vent debout l'amenait à n'être que 4 nœuds, la machine n'était réduite qu'à 46 révolutions. Le recul de l'hélice et par conséquent la perte de force étaieut très-grands, lorsque le navire se trouvait dans la

position dont nous parlons; le capitaine prit alors le plus près, et le loch devint de 7 nœuds, l'hélice se trouvant dans de meilleures conditions de fonctionnement. Je pense que *le Francfort* serait encore moins capable que les navires à hélice ordinaire de lutter avec avantage contre un fort vent debout, parce que son hélice est située derrière le gouvernail, de sorte que le volume d'eau élevé par l'action centrifuge aide moins quand le navire se trouve presque arrêté. Je présume que toute sorte d'aile tournante, placée beaucoup de l'avant dans le massif d'étambot, pousserait le navire, quand même elle n'exercerait aucune impulsion sur l'arbre; parce qu'elle élèverait l'eau à l'arrière de manière à former un plan incliné, qui ferait pour ainsi dire glisser le bâtiment avec une grande force. Je crois qu'avec cette disposition on obtiendrait un beaucoup plus grand effet utile, et que l'hélice deviendrait un propulseur préférable en tous points à la roue. Car, à mesure que la vitesse du navire est diminuée, l'action centrifuge du propulseur serait augmentée, et une colonne d'eau plus haute s'élèverait sous le navire, pour le faire aller de l'avant. La surface produisant l'impulsion ne serait plus le disque de l'hélice, mais bien la maîtresse section immergée, et la pression sur cette surface augmenterait précisément, quand elle deviendrait plus nécessaire, ou en d'autres mots elle s'accroîtrait dans le même rapport que la résistance opposée au navire. Pour arriver à obtenir cet effet de la manière la plus avantageuse, il est évidemment indispensable que l'hélice soit placée très en avant dans le massif d'étambot, ou presque au commencement des façons du navire; car si elle est située à l'arrière, presque toute la force de ce courant ascendant, ou plutôt de cette élévation donnée à l'eau serait perdue, comme sur tous les navires à hélice existants.

Les remarques précédentes font voir d'une manière générale, que les navires à hélice avec une puissance auxiliaire présentent le moyen de transport le plus économique qu'on ait encore connu, tandis qu'en même temps ils ont une marche plus rapide et surtout plus régulière que les bâtiments à voiles. Tous ces avantages ne sauraient être attribués à la seule innovation de l'emploi de la vapeur, car ils proviennent en grande partie de la plus grande longueur et de la finesse des nouvelles constructions, et aussi de leur grandeur relativement aux bâtiments qu'ils ont supplantés. Afin d'assurer le plus grand avantage aux navires à hélice pour le transport des cargaisons, il faut qu'ils soient en même temps très-fins et très-grands; que le propulseur soit profondément immergé et qu'il

soit placé le plus en avant possible dans le massif d'étambot. Ils ont assez de largeur à la flottaison pour permettre de porter beaucoup de toile et leur gréement est disposé de manière à offrir le moins de résistance, lorsqu'ils sont forcés de lutter contre le vent. Les voiles doivent être enverguées de manière à être bien plates quand elles sont établies, afin de permettre de serrer le vent : si elles avaient des trous, ou encore si elles étaient disposées comme une jalousie en forme de persienne, de manière à laisser passer le vent dedans, je pense qu'elles serreraient encore mieux le vent. L'air frappant sur une voile est réfléchi de sa surface suivant l'angle du choc, il gêne nécessairement un peu la force de la couche suivante, qui arrive à son tour toucher la voile, ou bien il en change la direction. Lorsque le navire tient le plus près la partie en arrière des voiles n'a donc presque aucun effet; en ce que, avant d'arriver à la toucher, le vent est détourné par la réflexion de l'air arrivé déjà sur la voile, et, comme ce dernier, il suit aussi la direction de la surface de la toile. Une série de voiles étroites disposées comme sur la figure 12 ne présenterait pas ce désavantage, et les navires, pourvus de

Fig. 12.



ce système, serreraient beaucoup mieux le vent que ceux qui emploient les voiles ordinaires. La petitesse de la résistance d'un navire par l'avant relativement à celle par le travers, l'absence d'obstacles du gréement et des parois supérieures, la forme très-plate des voiles, et la facilité avec laquelle l'air s'échappe après avoir produit son impulsion, déterminent la manière dont un navire tient le vent. L'expérience a prouvé que l'impulsion des voiles sur un navire était augmentée par l'élasticité du gréement, et il serait à désirer que le dormant fût disposé de manière à céder d'une façon suffisante et systématique. Quand la force du vent varie par intervalles, comme cela se présente fréquemment, il en résulte que, la vitesse du navire ne changeant pas en proportion, l'air est réfléchi par la voile au moment de sa plus forte action. Mais, si le gréement a une certaine élasticité, les voiles seront poussées en avant au moment de sa plus grande vitesse, plus que ne l'est le na-

vire lui-même, d'où il résulte qu'il y aura moins d'air repoussé, et qu'une plus grande partie de son impulsion sera utilisée. Le ressort des mâts continue la pression sur le navire, quand le vent agit moins fortement : par conséquent cette pression, qui fait marcher le bâtiment, est plus uniforme quand le gréement est élastique, et lui donne une meilleure marche.

Les avantages comparatifs du bois et du fer pour la construction des navires ont été débattus avec beaucoup de zèle et d'intelligence pendant ces dernières années; chacun de ces matériaux a ses avantages et ses partisans. Les bâtiments en fer sont considérés chaque jour d'une manière plus favorable, et il me paraît certain que pour la plupart des relations commerciales, ils remplaceront complétement les autres. Leurs principaux inconvénients sont d'avoir leur carène salie par les herbes et les coquilles beaucoup plus vite que celle des navires en bois : ils ont une influence perturbatrice sur la boussole, et leur température intérieure trop chaude dans les tropiques, est trop froide dans les autres contrées. Dans les pays où il y a de grandes différences de chaleur, la saturation de la vapeur humide dans la cale pendant le jour, et sa condensation rapide pendant la nuit, suites naturelles de la facilité qu'éprouve la chaleur à traverser le métal des murailles, forme dans l'intérieur une rosée, qui s'écoule comme l'humidité des fenêtres des salles de bal et des chambres où se trouvent de nombreuses réunions, et qui cause des dommages à la cargaison. Quelquefois l'intérieur des navires en fer est activement rongé, surtout au-dessous des écoutilles, à cause de l'eau qui tombe par ces ouvertures, lorsqu'on charge ou décharge, et de l'humidité de l'archipompe, où il y a toujours un peu d'eau. En outre, le frottement produit par les morceaux de charbon et d'escarbilles tombés dans la cale use quelquefois activement les têtes des rivets; et les navires consacrés au transport du bétail éprouvent beaucoup de corrosion intérieure à cause de l'humidité de la respiration des animaux. D'un autre côté, les navires en bois sont plus promptement détériorés que ceux en fer, surtout si la pourriture sèche les attaque, et, sans tenir compte de ce genre d'accident, ils sont plus dispendieux à entretenir en bon état. Ils sont aussi plus exposés aux ravages des insectes, et à une déliaison complète quand ils échouent; enfin ils ont d'autres inconvénients qu'il est inutile d'énumérer. La cherté toujours croissante des bois, d'un côté, et de l'autre le bon marché qu'une production tous les jours plus active et plus éclairée amène dans les prix du

fer sont par elles-mêmes des causes suffisantes pour entraîner à remplacer le bois par ce dernier; même s'il y avait une plus grande différence entre leurs qualités respectives. Pour toutes les navigations de rivière et pour le cabotage, surtout lorsque les navires échouent à chaque marée; pour les communications dans les climats tempérés, où le goëmon et les bernicles ne s'attachent pas trop promptement; et pour tous les voyages même dans les tropiques, quand le navire peut entrer dans une rivière à la fin des traversées, ou s'il peut avoir sa carène grattée sans inconvénients, les navires en fer sont sans contredit préférables, et doivent, je crois, remplacer graduellement ceux en bois, même pour les services, que je viens d'énumérer.

Tous les navires en bois ou en fer, ont été, jusqu'à présent, construits d'une manière peu scientifique, en ce que presque toute la force a été donnée aux parties inférieures et aux côtés, et très-peu au pont; tandis qu'un bâtiment devrait être considéré comme un long tube creux, capable d'être impunément chargé au milieu, quand il est porté par les bouts, ou par les extrémités, tandis que le centre est soutenu. Pour mettre un bau à même de supporter de tels efforts avec le moins de poids et de matériaux possible, il est évident que sa force doit être surtout concentrée au-dessus et au-dessous, et si nous appliquons cette règle à un navire, le pont sera presque aussi solide que la quille et le fond. Cependant, on est si éloigné d'observer cette règle, que les ponts des navires sont très-minces et très-faibles en comparaison des fonds, et que leur bordage, au lieu d'être boulonné, n'est que cloué sur les baux. De plus, les navires, à roues à aubes, sont presque coupés en deux au milieu de leur longueur par les écoutilles nécessaires au mouvement des manivelles, et ceux de toutes sortes ont leurs ponts percés de nombreux trous et d'écoutilles. Par le fait, le pont est plutôt regardé comme un plancher pour se promener, ou comme une terrasse pour s'opposer à l'infiltration de l'eau, que comme une partie intégrante du navire de laquelle dépend en grande partie la force dans le sens de la longueur, et il résulte de cette erreur que les bâtiments sont plus lourds et plus faibles qu'ils ne devraient l'être. Je proposerais de faire les navires en fer avec un pont en tôle, de manière à convertir le navire en un tube fermé aux deux bouts : je mettrais une membrure ou cornière à chaque bau, et je la joindrais à celles des côtés, de manière à former un anneau continu autour de l'intérieur du navire comme le montre la figure 13. L'extérieur du navire en dehors de la membrure, aurait

aux angles du pont un espace angulaire que je remplirais dans les navires en bois; et, dans ceux en fer, j'y mettrais une sorte de tuyau triangulaire en tôle, construit de manière à former la continuation du pont et de la muraille, et à s'étendre du milieu jusqu'à chaque extrémité du bâtiment. Même dans les constructions en bois, je proposerais de faire la membrure en fer exactement semblable à celle que j'ai imaginée pour les bâtiments en fer, et la seule différence entre les deux sortes de navires serait, que l'un serait bordé en tôle et l'autre en planches. Le bordé serait fait avec une épaisseur de teck du Malabar, assujetti à la membrure en fer par des boulons rivés, qui seraient en cuivre, au-dessous de la ligne de flottaison, et en fer au-dessus : ce bordé serait continué sur les côtés, le pont et le fond du navire, de manière à former de toutes parts une surface continue. Partout où le pont est affaibli par des ouvertures, il serait fortifié autour de l'écoutille par des cornières en fer d'une construction qui compense pleinement le manque de force. Pour lier les bordages par leurs parties en contact, et pour empêcher l'effort longitudinal de porter seulement sur les boulons, je proposerais de creuser dans leur épaisseur une rainure ondulée (fig. 14), et d'y introduire une lame de fer zingué. Cette rainure serait facilement creusée au moyen d'une machine disposée dans ce but, et l'introduction de cette lame métallique, enfoncée solidement dans de l'étain, ajouterait beaucoup à la solidité du navire et n'empêcherait nullement le calfatage ordinaire. Il est évident que l'emploi d'une telle lame métallique empêcherait entièrement les bordages de jouer, l'un par rapport à l'autre, et que le navire ressemblerait à une pièce de bois solide, qui a été creusée. Les navires en bois, construits de la sorte seraient moins chers que ceux par le système habituel : ils seraient aussi plus solides, plus légers et plus durables, et, par conséquent, ils vaudraient mieux sous tous les rapports.

Fig. 13.



Fig. 14.



CHAPITRE VIII.

NAVIRES A HÉLICES SUR LES CANAUX.

La propulsion sur les canaux fut une des premières applications de l'hélice; mais quoiqu'elle soit en usage en Amériqne et sur le continent d'Europe, elle n'a pas encore été adoptée en Angleterre. Cependant, je ne crois pas que ce mode de propulsion mérite autant de préférence que d'autres procédés, qui pourraient être introduits, et qu'il soit sonvent adopté, surtout quand les canaux ont peu de largeur. Toutefois, il sera utile de récapitnler quelques-uns des résultats obtenus par cette application et j'expliquerai ensuite comment je crois que la propulsion par la vapeur sur les canaux peut être effectuée d'une manière plus avantageuse qu'avec l'hélice.

Les meilleures dispositions adoptées sur les canaux sont celles avec deux hélices, quelquefois placées à l'avant, mais le plus souvent à l'arrière. Un exemple de l'nn des arraugements les plus simples d'une machine appliquée à deux hélices se trouve dans l'appareil du bateau français, l'*Étoile*, représenté dans la planche des machines directes de cet ouvrage. L'*Étoile* a $24^{m},70$ de long sur le pont et $4^{m},69$ de largeur. Son tirant d'eau est $1^{m},00$, et sa maîtresse section immergée est 3,199 mètres carrés. Elle a un cylindre de $0^{m},371$ de diamètre et $0^{m},415$ de course : la machine est à condensation, et la pression de la vapeur 2^{k} par centimètre carré. Une hélice est placée de chaque côté de l'arrière dans les façons, et chacune se meut à l'opposé de l'autre : leurs arbres sont prls dans des engrenages afin de tourner à l'envers l'un de l'autre et en même temps de donner à la tige du piston nne positlon verticale; les roues agissent de la même manlère que le mouvement parallèle de Cartwrlght. Le diamètre de l'hélice est $1^{m},60$ et le pas $3^{m},40$. La détente commence dans les cylindres après les trois quarts de la course, et la machine fait de 60 à 80 révolutions par minute.

D'après quelques expériences faites sur le canal d'Arles en France, pour savoir s'il y avait avantage à embarquer les marchandises sur le navire lui-même, ou à les faire remorquer dans des barques séparées, il fut

conclu qu'il était plus avantageux de les placer dans le bâtiment. Deux barques, chargées chacune de 210 tonneaux de charbon, furent attachées à *l'Étoile*, servant de remorqueur : mais alors le recul de l'hélice augmenta beaucoup et s'éleva jusqu'à 70 pour 100 : tandis que celui de *l'Étoile* seule, lorsqu'elle ne remorquait rien, était sur le même canal seulement de 30 pour 100, et il fut reconnu qu'avec un navire à hélice bien disposé et chargé de 200 tonneaux le recul n'excéderait pas 35 à 40 pour 100. Il est hors de doute que lorsqu'il y a une profondenr d'eau suffisante, la résistance est moindre quand la cargaison est embarquée à bord d'un vapeur de construction convenable, que lorsqu'elle est placée dans des barques qu'il est chargé de remorquer : parce qu'avec le même appareil propulseur, il y a plus de recul en remorquant. Mais la quantité de marchandises qu'un vapeur peut prendre sur un canal ordinaire est très-petite, et il devient plus dispendieux d'avoir de nombrenx bateaux séparés, que de traîner une longue suite de barques.

Les résultats d'expériences faites il y a quelques années sur le canal Paisley, semblèrent montrer que des bateaux de canal étaient plns facilement remorqués au galop qu'au trot, et portèrent quelques personnes à conclure, que leur résistance n'augmentait pas avec la vitesse, mais que par le fait elle devait diminuer. Les expériences faites par M. Morin sur plusieurs canaux de France ne confirment nullement cette hypothèse, et il a trouvé que dès que la vitesse reste uniforme, la résistanee augmente comme la maîtresse section immergée, et comme le carré de la vitesse. Cependant, il est reconnu que sur des canaux étroits et peu profonds, la résistance est plus grande à petite qu'à grande vitesse ; car la vague occasionnée par le bateau marche avec une célérité déterminée, qui dépend surtout de l'aire du canal, et si le bateau ne va pas aussi vite qu'elle, il élève une suite de vagues qui font dépenser inutilement beaucoup de force. Toutefois, sur les canaux larges et profonds, la hauteur de la vague est moindre et la vitesse de translation est plus grande, de sorte que le bateau ne peut la rattraper, et même s'il le fait, il y a peu de différence dans le résultat. Sur les canaux ordinaires, toutes choses étant égales, la résistance varie à peu près comme la section immergée et comme le carré de la vitesse, ainsi que l'a trouvé M. Morin. Mais si le canal est étroit ou le sillage très-rapide, le bateau sera en partie élevé au-dessus de l'eau et sa maîtresse section sera diminuée.

La résistance éprouvée par un bateau sur un canal est plus grande

que celle éprouvée en grande eau, mais la quantité dont elle augmente relativement à la vitesse, varie suivant l'aire de la section du canal ou plutôt suivant son rapport à celle du bateau. Sur les canaux d'une petite surface de section, la force de traction nécessaire augmente d'abord relativement à la vitesse, elle diminue ensuite et s'accroît de nouveau si la marche devient encore plus rapide. Avec certaines vitesses, la résistance d'un bateau fin et léger, remorqué par des chevaux, est plus forte sur un grand canal que sur un petit; mais celle d'un bateau lourdement chargé est toujours plus grande sur un canal étroit et peu profond. Cela est clairement montré par la table suivante où sont portées les résistances éprouvées par *l'Étoile* en grande eau et sur des canaux de sections différentes.

LIEUX DES EXPÉRIENCES.	Section du canal en mètres carrés.	Rapport de la section du canal à celle de la partie immergée du bateau.	Recul de l'hélice (pour 100).	Puissance développée par la machine en chevaux.	Vitesse du navire par heure, en *statute miles* (*).	Résistance en kilog. sur un mètre carré de la maîtresse-section à la vitesse de 1 mètre par seconde.
	m. q.					k
Rade du Havre......			19	17,0	7,8	7,85
Canal d'Arles.......	36,714	11,5	30	17,7	6,2	12,98
Canal de Beaucaire..	26,597	8,3	30	15,8	6,0	13,76
Canal latéral de la Loire.............	19,799	6,2	40	14,9	4,5	25,39
Canal de Briare......	11,000 à 13,000	3,4 à 4			3,6	

(*) Le *statute mile* est de 69,12 au degré; il équivaut à 1,909 kilomètre, ou 0,868 mille marin.

Les expériences de M. Morin avec des bateaux légers et rapides sur le canal de l'Ourcq à Saint-Denis, montrèrent que la résistance éprouvait aussi une influence de l'étendue de la surface frottante du fond, et que cette quantité était indépendante de la vitesse. Dans les meilleurs exemples de ces essais, M. Morin trouva que la résistance par pied carré à la vitesse d'un mètre par seconde ou 1,9 mille marin, est 2,16 livres ou 10^{k},28 par mètre carré. Il trouva que la résistance de la surface mouillée du fond était d'environ 0,043 livre par pied carré, ou 0^{k},210 par mètre carré. Admettant que R représente la résistance totale du bateau, S l'étendue de la surface mouillée de la carène en pieds carrés, K la résistance par pied carré de la section immergée en livres anglaises; B^2 l'aire de la section immergée et V la vitesse, on a $R = 0{,}043\,S \times K B^2 V^2$;

et, pour les meilleures formes de bateaux essayés, l'expression devient $R=0,043\ S\times2,16\ B^2V^2$. En appliquant cette formule à *l'Étoile*, nous obtiendrons des résultats très-différents les uns des autres, suivant la largeur du canal, car la valeur de K qui, en grande eau, est 1,61, devient 5,24 dans un canal étroit. Les grands bâtiments naviguant sur mer, ont une valeur de K beaucoup moindre que 1,61 livres ou 8k,29 par mètre carré. A bord du *Pélican*, elle est de 5k,95, et sur des navires plus grands et plus fins, elle a été observée par le dynamomètre de 4k,49. La dépense de force de propulsion sur les canaux est donc nécessairement beaucoup plus grande que celle sur les rivières profondes ou sur la mer, puisque la résistance à la marche est plus considérable. Plus le canal est contracté, plus cette différence devient grande, comme le montre la diminution de vitesse de *l'Étoile* en entrant dans les aqueducs de Digoin et de l'Allier, et dans quelques-unes des coupées du canal central, où la section est réduite à 90 ou à 100 pieds carrés (8m.c.,36 ou 9m.c.,29). Dans ces passages, la vitesse de *l'Étoile* ne dépasse pas $\frac{1}{2}$ ou $\frac{3}{4}$ de mille à l'heure.

Dans un traité intéressant sur la navigation des canaux, par M. Dubied, récemment publié à Paris, l'auteur calcule qu'en employant des bateaux à hélice d'une construction convenable, les marchandises seraient transportées sur les canaux de dimensions moyennes à une vitesse de 3,1 milles à l'heure pour le prix de 0fr,025 par tonneau et par mille, et à celle de 1m,8 par heure pour un cinquième de penny, ou à 0fr,020 par tonneau et par mille, ou un peu moins d'un farthing. Sur les plus grands canaux, il propose de faire porter 200 tonneaux de marchandises outre la machine propulsive, et sur les plus petits canaux, de mettre en sus de la machine 100 tonneaux de chargement. Il pense que sur les bateaux les plus forts la vitesse demandée serait obtenue avec une machine de 11 à 12 chevaux, et sur les petits avec des appareils de 10 à 11. On obtiendrait 1,8 mille à l'heure avec des machines de 2 ou 3 chevaux, ne nécessitant qu'un chauffeur, ces bateaux seraient en fer et pontés, ils n'emploieraient que deux matelots. Sur quelques canaux, les herbes aquatiques embarrasseraient la marche dans les commencements, en ce qu'elles s'accumuleraient autour de l'hélice jusqu'au point d'arrêter la machine, mais une faux traînée pendant quelque temps à l'arrière de l'un des bateaux détruirait bientôt ces obstacles, et le mouvement fréquent des hélices empêcherait les herbes de reparaître.

L'action des bateaux à vapeur sur les berges des canaux a été jusqu'à

présent une des principales objections élevées contre leur emploi, et il a été trouvé que lorsque *l'Étoile* atteignait une vitesse de 4,3 milles à l'heure, elle élevait une vague d'un pied ($0^m,305$) de haut s'étendant de l'avant au milieu de la longueur du bateau et brisant des deux côtés du canal. Il est clair que si cet effet avait lieu longtemps, il finirait par détériorer les berges, mais il a été prouvé par les expériences en question, que cette agitation de l'eau n'était produite que par la marche du bateau, et nullement par l'action de l'hélice; de sorte qu'elle aurait eu lieu également, si un bateau de la même dimension avait été traîné aussi vite par des chevaux. Avec une marche plus lente, ou bien avec un plus petit bateau, ce mouvement de l'eau serait également moindre: et l'existence d'une vague, dans de telles circonstances, n'est pas une objection suffisante contre l'emploi des bateaux à hélice sur les canaux, mais seulement contre l'adoption de dimensions assez grandes ou de marches assez rapides pour occasionner l'inconvénient dont il est question.

Sur quelques-uns des canaux d'Angleterre, sur le grand canal et sur ceux de l'Irlande, on s'est récemment servi de navires à hélice, ayant généralement deux de ces propulseurs comme à bord de *l'Étoile*. Mais, quoique ces innovations aient obtenu quelque succès, l'introduction des vapeurs sur les canaux n'a pas eu le résultat espéré. Il n'est pas difficile d'en connaître les causes: à bord de tout vapeur de peu de longueur et de largeur, mais destiné néanmoins à une grande vitesse, le poids de la machine et du combustible fait nécessairement enfoncer; et, sur tous les canaux de section ordinaire, cette immersion augmente beaucoup la résistance, et conséquemment les frais de transport. Avec des marches très-lentes, ces défauts seraient moins sensibles; mais alors, des barques très-grandes sont traînées par deux ou trois chevaux, qu'il paraît inutile de remplacer par une machine, à moins cependant qu'on ne remorque à la fois plusieurs barques. Un long train éprouverait beaucoup de retard à chaque écluse, car généralement une seule barque peut y entrer à la fois, et la première serait forcée d'attendre que toutes les autres eussent fini de passer: d'où il résulterait une plus grande perte de temps que si chaque barque était tirée par des chevaux. Ces obstacles ont empêché jusqu'à présent le succès des navires à vapeur sur les canaux, et il me paraît que des bateaux, tels que ceux qu'on a employés, et poussés par des roues ou par des hélices, ne sont pas combinés de manière à réaliser la quantité d'utilisation indispensable, pour arriver à un résultat favorable.

Je proposerais de pousser les bateaux sur les canaux avec une roue tournant sur le fond, et disposée de manière à s'élever ou à s'abaisser suivant les irrégularités du terrain. Cette roue serait entraînée par une machine à vapeur, et serait armée sur son contour de pointes saillantes, pour l'empêcher de glisser sans entraîner le navire. Des roues de cette sorte fonctionnent avec succès sur le Rhône pour remorquer des bateaux contre le courant rapide de ce fleuve. Elles tirent des barques très-lourdement chargées; et comme dans un canal il y a un surcroît de résistance semblable à celui éprouvé en remontant une rivière rapide, il me paraît que le mode de propulsion qui a réussi dans un cas, aurait des chances de le faire dans l'autre. De la sorte, il n'y a pas de recul, et toute la force de la machine est utilement employée, quelle que soit la résistance. Comme le fond des canaux est généralement beaucoup plus de niveau que le lit des rivières, le mode de propulsion proposé serait d'une application plus facile que sur les fleuves [1]. Mais il reste encore la difficulté du passage des écluses, et je proposerai de la surmonter de la manière suivante. Chaque bateau tirerait un train de barques, et il y aurait au moins deux trains par jour, l'un de passagers, l'autre de marchandises. Les premiers seraient formés de feuilles d'acier, et construits sous tous les rapports avec la plus grande légèreté possible. Pour empêcher une vague d'une hauteur nuisible aux berges d'être formée par un passage trop rapide, je proposerais des bateaux très-longs; dans certains cas ils auraient quelques centaines de pieds, pour faire les extrémités beaucoup plus aiguës que d'habitude, et pour élever graduellement le fond vers l'avant et vers l'arrière, jusqu'à ce qu'il arrive à la surface, afin que l'eau soit en réalité déplacée doucement, quoique séparée avec beaucoup de rapidité. Toutefois, au lieu de faire le bateau en une seule pièce, je le diviserais en plusieurs distinctes, qui, une fois jointes ensemble, formeraient un train comme un long bateau unique, très-long et très-aigu; de la sorte il n'aurait pas à craindre de se briser s'il échouait, et il pourrait se courber dans les coudes du canal. Chaque

[1] Les bateaux du Rhône dont parle l'auteur anglais, ne se servent de leur roue armée de dents que sur les fonds de gravier ou de sable : les dents n'ont pas assez de prise dans les fonds vaseux, et elles éprouvent de la difficulté à en sortir. Aussi, sur ces qualités de fond, ainsi que sur les roches, le remorqueur fait mouiller le train, et part en avant avec des roues à aubes ordinaires, en filant un long câble en fils de fer et de caret. Arrivé au terme, il mouille, fait signal au train de dérapper, et le hale jusqu'à son arrière, en faisant tourner avec une machine à vapeur spéciale le tambour sur lequel la remorque est enroulée. Il y a des parties du Rhône où cette opération est répétée plusieurs fois.

bateau aurait un très-fort plat-bord en saillie, et en arrivant aux écluses, le train abandonnerait l'eau, et changerait de niveau sur deux rangées de roues fixées sur les côtés du canal, sur lesquelles les bateaux resteraient suspendus par les plats-bords en saillie, et seraient remontés par une chaîne. J'ai proposé il y a plusieurs années des bateaux semblables à ceux dont je parle pour naviguer sur les rivières de l'Inde, et il paraît qu'ils y seront bientôt employés.

CHAPITRE IX.

COMPARAISON DES DIVERSES SORTES DE MACHINES A HÉLICE.

On divise les machines destinées à mouvoir les hélices en deux classes : celles à engrenages et celles directes. Les premières se meuvent avec la vitesse ordinaire des appareils des roues à aubes, et la rapidité de rotation nécessaire est communiquée au propulseur au moyen d'un engrenage. Dans la seconde classe les machines sont directement articulées à l'arbre de l'hélice, et par conséquent elles donnent autant de coups doubles, que ce dernier fait de tours. Ces deux genres de machines ont chacune leurs qualités; cependant les premières présentent le défaut d'occuper le double ou le triple de l'espace, et de peser deux ou trois fois plus, que si on s'était dispensé de se servir de l'engrenage. Certes on a fait plus de mauvaises machines directes que de mauvais appareils à engrenages; et si l'utilisation réelle de chacune était prise, on trouverait probablement que celles à roues dentées ont fait plus de travail pour moins de charbon. Mais ces imperfections accompagnent toujours les innovations aussi importantes, que la grande accélération de mouvement des machines marines. L'événement montre ce qui aurait pu être prédit : que lorsque des mécaniciens de différents mérites ont la résolution de résoudre un problème, il s'en trouve quelques-uns qui montrent aussitôt un plus grand savoir que les autres, et il y en a peu qui arrivent à un point de perfection assez grand, pour faire admettre leurs idées à la place de celles adoptées. Le dernier pas du progrès d'un art n'est pas représenté par le plus mauvais procédé mis en avant, mais bien par le meilleur; et si nous comparons quelques-unes des machines directes les plus parfaites avec les appareils à engrenages les plus estimés, nous trouverons que les premières ont l'avantage sous tous les rapports. Relativement à leur effet utile, ou, autrement dit, à la quantité de force produite pour le même poids de charbon, elles ont d'aussi bons résultats. La liberté de leurs pistons aux extrémités de la course et leurs différents orifices ou passages de la vapeur, ont été, il est vrai, plus souvent remplis de vapeur inutile, mais aussi ces espaces

sont proportionnellement d'une capacité moindre, les cylindres étant d'autant plus petits que les pistons se meuvent vite, et la perte par la condensation d'une partie de la vapeur dans le cylindre est beaucoup diminuée. Une expérience récente a prouvé que cette perte est plus considérable qu'on ne le pensait : elle a montré qu'une machine formée de quatre cylindres est plus avantageusement employée en se servant d'une quantité donnée de vapeur pendant toute la course de deux cylindres, qu'en introduisant la même quantité pendant la moitié de la course dans les quatre. L'avantage de la détente est plus que contrebalancé par l'augmentation de surface refroidissante des quatre cylindres, et si la même étendue était présentée par deux grands cylindres au lieu de quatre petits, le résultat serait le même que dans le cas précité. S'il en est ainsi, les machines à mouvements lents, et ayant par conséquent de grandes dimensions, sont moins économiques que celles plus petites, mais se mouvant très-vite, de manière à produire la même force. Il résulte par conséquent que, toutes choses égales, les appareils directs tournant avec rapidité, économisent mieux la vapeur que ceux à engrenages, et seraient préférés à cause de cela pour faire tourner l'hélice, même s'ils n'avaient pas d'autres qualités. Mais sous tous les autres rapports ils ont une supériorité évidente sur ceux à engrenages, car il ne faut pas regarder comme un petit avantage d'avoir une machine capable de développer deux ou trois fois la puissance d'une autre de même dimension, ou d'avoir la moitié ou le tiers plus de poids et de volume pour la même force. Telles sont les machines directes et celles à engrenages l'une à l'égard de l'autre, et il ne faut pas une grande pénétration d'esprit pour voir que ces dernières ne tarderont pas à être universellement abandonnées. Quel avantage trouve-t-on dans les machines à engrenages? A quels inconvénients obvient-elles? Je n'en connais absolument aucun, et les raisons alléguées par leurs apologistes, pour persister à les préférer, me paraissent également futiles et chimériques. A une certaine époque les clapets de pompe à air présentaient certainement un obstacle aux mouvements rapides des machines à condensation, mais cet inconvénient a totalement disparu par l'adoption des soupapes en caoutchouc vulcanisé, à la place de celles en bronze employées antérieurement; et maintenant il n'y a plus de machines directes, où les pompes à air produisent le plus petit choc et occasionnent le moindre embarras. Quand à ce qui regarde les plus grandes chances d'échauffement des articulations dans les appareils à mouvement ra-

pide, ce n'est pas seulement une question de vitesse, mais de vitesse et de surface frottante combinées; car une articulation tournant vite ne sera pas plus exposée à s'échauffer, que celle à mouvement lent, si la surface des parties frottantes a l'extension suffisante. Il est clair, en outre, que la seule partie des appareils à hélice, où il y ait plusieurs grands palliers, est l'arbre lui-même, qui se meut nécessairement très-vite, quelle que soit la forme de la machine employée; et si les frottements de ces parties peuvent être maintenus eu bon état, pourquoi le bonton de manivelle ne le serait-il pas aussi facilement? et c'est la seule partie du renvoi de mouvement qui tourne rapidement. A bord de beaucoup de navires les dents en bois ont été usées, ou ont pris du jeu en pen de temps, mais il ne faut pas imputer des défauts de ce genre au système lui-même, puisqu'ils ne proviennent que d'une mauvaise confection. De même il ne serait pas convenable de conclure des imperfections de quelques machines directes que toutes sont défectueuses, car si on en a fait de mauvaises, il y en a aussi de bien faites. Il est maintenant certain que les machines directes bien confectionnées sont, sous tous les rapports, aussi bonnes que celles à engrenage; et s'il en est ainsi, pourquoi employer ces lourdes roues dentées? Sans nul doute les mécaniciens qui n'ont pas encore exécuté de machines directes, ou qui n'en ont fait quo de mauvaises, seront tentés de préférer les engrenages aux incertitudes d'une voie non frayée, ou dans laquelle ils n'ont pu atteindre la perfection. Mais bien que certaines personnes soient encore tentées d'adopter une forme antique de mécanisme, le public n'a pas autant qu'elles l'envie d'en user; et si elles ne peuvent ou ne veulent pas faire des machines directes, il en résultera seulement qu'on s'adressera là, où la même antipathie n'existe pas. Il est maintenant hors de doute et de discussion que des machines directes produisant le même effet utile que celles à engrenages, peuvent être faites, et l'ont été. Il est également certain que les appareils directs épargnent beaucoup de place et de poids, et que cela s'élève à la moitié ou au tiers des vieux appareils à roues dentées. Pourquoi dès lors ceux qui désirent un navire à hélice dédaigneraient-ils ces avantages, lorsqu'en achetant ailleurs ils sont sûrs de les trouver. Les machines directes ont moins de complication, elles coûtent moins à construire, et si elles ont été bien exécutées dans le principe, elles coûtent moins pour les réparations; mais leurs bâtis doivent être d'une grande solidité, les portages des coussinets très-longs, et les clefs, ainsi que tous les boulons ajustés, de manière à ne pas

prendre de jeu. Avec ces simples précautions, quelquefois négligées il est vrai, les machines à hélice fonctionnent avec une grande vitesse et avec très-peu de dépenses pour l'usure et l'entretien : il n'y a par conséquent aucune raison de prendre des appareils plus lourds et plus volumineux à cause de la complication de leurs engrenages.

MACHINES A HÉLICE A ENGRENAGE.

MACHINES DU *FAON* ET DE *LA FAIRY*. — Ces machines, construites par MM. Penn et fils, sont, sous beaucoup de rapports, semblables à celles que ces messieurs avaient déjà faites pour les navires à roues à aubes; la vitesse de l'hélice étant portée au point désiré par une roue et un pignon. La poussée de l'hélice était dans le principe reçue par un grain d'acier encastré dans le bout de l'arbre, qui pressait sur une plaque d'acier, sur laquelle un courant d'eau était dirigé; mais il arriva que lo grain s'échauffa au point de devenir rouge blanc, et de se souder avec la plaque d'acier, quoique l'eau vînt constamment les mouiller. Le même accident s'était déjà présenté sur *le Rattler* en marchant en arrière : pour recevoir la poussée dans cette direction, on avait mis sur l'étambot de l'arrière une plaque d'acier; elle se trouvait donc toujours plongée dans l'eau. Cependant la chaleur, causée par l'action réunie de la pression et de la vitesse, devint si grande, que le bout de l'arbre se souda avec la plaque, et l'arracha. Ces accidents furent causés par la petitesse des surfaces frottantes; et comme maintenant elles sont plus grandes, la pression distribuée sur un espace plus vaste, n'occasionne plus d'échauffement. Le même fait arriva à bord de *la Fairy*, lorsque la reine remontait le Rhin, et heureusement M. Penn était lui-même à bord. Il détacha aussitôt du bout de l'arbre les restes du grain de buttée, et mit quelques morceaux de bronze à la place de la plaque d'acier pour appuyer le bout de l'arbre. L'extrémité de ce dernier ayant une beaucoup plus grande surface, distribua mieux la poussée, et le navire put continuer sa route sans éprouver de retard. Les machines oscillantes de MM. Penn employées pour les roues à aubes sont trop connues, pour qu'il soit utile d'en donner ici une description, et j'engage ceux qui désirent plus de détails à parcourir mon catéchisme, où il y a des documents sur ce genre d'appareil. Je dois ajouter que MM. Penn n'emploient plus maintenant de machines à engrenages, même pour des navires aussi petits que *le Faon* ou *la Fairy*. Dans leurs derniers appareils pour *l'Argus*, et la

Sea-Mew, croiseurs de la douane de 60 chevaux, la machine employée par MM. Penn est directe et à fourreau, de la même construction que celles de *l'Arrogant* et de *l'Encounter*, représentées sur la planche des appareils directs. Les machines de *l'Argus* sont celles que ces messieurs ont construites pour la grande exposition. Leur hélice est de $2^m,44$ de diamètre, $2^m,745$ de pas, et $0^m,482$ de long. Celle de la *Sea-Mew* est de $2^m,389$; $3^m,125$ de pas et $0^m,520$ de long. La frégate péruvienne *Amazonas* a des machines du même genre de 300 chevaux de puissance; l'hélice a $4^m,575$ de diamètre, $4^m,575$ de pas et $0^m,762$ de long. Toutes ces hélices sont à deux ailes.

Machines de *l'Intrépide* et du *Pionier*. — Ces machines construites par MM. Watt et Cie (antérieurement Boulton, Watt et Cie) sont à cylindres oscillants, dans le genre de celles de *la Fairy*, mais avec une plus longue proportion de course, et deux pompes à air mues par un balancier, au lieu d'une seule. La force nominale de ces machines est de 60 chevaux, et celle développée réellement est d'environ 140. La pression de la vapeur dans les chaudières est de $0^k,912$ par centimètre carré; le nombre de pieds carrés de la surface de chauffe pour évaporer un pied cube d'eau est 9 ½ pieds carrés, et l'évaporation d'un pied cube d'eau, 28,4 litres dans la chaudière, produit dans la machine de 1,25 à 1,40 cheval de force réelle, cela donne 21 litres par cheval. L'aire des barreaux de grille pour évaporer un pied cube d'eau par heure est 0,433 pied carré ou $0^m,040$, et celle de la section des tubes par pied cube évaporé est 8,5 pouces carrés ou $0^m,0055$. L'hélice a environ $2^m,44$ de diamètre, $3^m,050$ de pas, et le nombre de révolutions par minutes est de 90 à 94.

Machines du *Rattler*. — Ces machines, construites par MM. Maudslay, sont à double cylindre, disposition qu'ils ont souvent employée pour les appareils à roues à aube, mais qui n'a jamais été adoptée par d'autres fabricants, et qui ne me paraît pas devoir être beaucoup usitée. La poussée de l'hélice est reçue sur une buttée en fonte. Les cylindres agissent par paires, les pistons se meuvent ensemble comme un seul, et les pompes à air sont menées par des leviers articulés avec la pièce qui réunit les deux tiges de piston. Cette traverse est unie à une seconde, qui est guidée entre les cylindres, et d'où s'élève la grande bielle, pour faire tourner la manivelle. Il y a un tiroir pour chaque paire de cylindres, et il est situé entre les deux, mais non dans l'alignement de leurs centres. Ce tiroir est cylindrique, et l'un d'eux est visible en

élévation derrière la partie descendante du T de la pièce supérieure de jonction.

Machines du *Plumper*. — Les machines du *Plumper* construites par MM. Miller et Ravenhill ressemblent beaucoup à celles du *Faon* et de *la Fairy*, mais les pompes à air sont construites d'une manière différente, et il y a quelque dissemblance dans d'autres parties de l'appareil. En général, ces machines peuvent être classées avec celles de MM. Penn, auxquelles elles ressemblent beaucoup, non-seulement par la forme, mais aussi par la perfection du travail. Dès qu'on emploie des engrenages, il n'y a pas de forme plus convenable que celle-ci, car elle est compacte, légère et très-peu compliquée dans ses diverses parties.

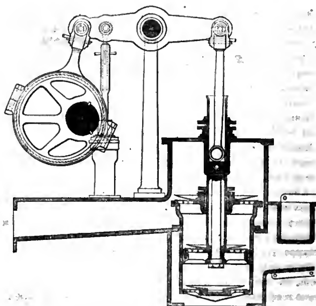
Machines du *Great Britain*. — Ces machines ressemblent presque entièrement à celles du *Faon*, de *la Fairy* et du *Plumper*, excepté sous le rapport de la dimension, mais *le Great Britain* avait deux pompes à air inclinées et faisant un angle entre elles au lieu d'une seule, comme pour les petites machines. La manière dont *le Great Britain* a marché avec ces machines est supérieure à ce qu'avait donné son premier appareil, quoique sa puissance nominale fût double. Sans l'aide des voiles et avec un chargement complet, il obtenait facilement 10 nœuds par heure.

Machines de *la Fire Queen*. — Ces machines sont de 80 chevaux; elles furent construites ainsi que le navire par M. Robert Napier, pour M. Ashton Smith, et elles sont certainement un des meilleurs types de ce genre. On remarquera que cette forme ressemble à la machine ordinaire de terre, mais le balancier et la grande bielle sont en fer forgé au lieu d'être en fonte, comme on le voit d'habitude. Le balancier est formé de deux feuilles de tôle épaisse, placées de champ et réunies par plusieurs traverses. Le condenseur est aussi en tôle, et la pompe à air en bronze. Le tiroir est à trois orifices comme celui des locomotives, mais la vapeur s'échappe vers le condenseur par un trou pratiqué dans le dos et pour empêcher celle contenue dans la chemise de suivre la même direction, le trou du derrière du tiroir est entouré d'un anneau métallique mobile, et rendu étanche sur les bords par son poli et par la pression des ressorts. L'effet de cette disposition est de préserver le tiroir de toute pression sur la face opposée aux orifices, et de le faire manœuvrer plus facilement, ainsi que toute la machine. Toutes les parties de cet appareil sont très-solides, peut-être même un peu trop lourdes, mais les dispositions sont si judicieuses qu'il serait difficile de suggérer des perfec-

tionnements à ce genre de machine, s'il devait être employé. La vitesse de *la Fire Queen* est de 14 milles à l'heure.

MACHINES DU *GREENOCK*. — Ces machines construites par MM. Rennie, pour le vapeur de S. M. B. *la Wasp*, ont été mises plus tard à bord du *Greenock*. Les cylindres sont horizontaux afin d'être placés au-dessous de la ligne d'eau, et les pistons font tourner un arbre court, portant les roues dentées qui engrènent avec les pignons de l'arbre de l'hélice et le font tourner. Les pompes à air, ainsi que celles de l'alimentation et de la cale, sont mues par des leviers, qui le sont eux-mêmes par des excentriques, montés sur l'arbre de la grande roue. On comprendra mieux cette disposition en examinant la figure 15 qui est une section de la

Fig. 15.



pompe à air du *Reynard*. Les soupapes sont faites avec plusieurs épaisseurs de toile à voile, s'appuyant sur un grillage et buttant lorsqu'elles s'élèvent sur des anneaux circulaires d'un diamètre à peu près égal à celui des soupapes, et ayant la forme d'une coupe. Il vaut mieux ne pas

faire de soupapes de pompe à air de cette sorte, mais à l'époque de la construction de cette machine, c'était la meilleure disposition connue.

MACHINES DU *HIGHFLYER*. — Ces machines construites par MM. Maudslay pour le navire de S. M. B. *Highflyer* ressemblent, dans leur disposition générale, à celles des locomotives. Le bâtis ne consiste qu'en deux tiges servant de guide à la traverse du bout de la tige de piston, et la pompe à air est menée par une petite manivelle à l'extrémité de l'arbre de la grande roue. La tige de piston de pompe à air est formée d'un tube ou fourreau, qui permet les oscillations de la bielle, qui meut le piston au moyen d'une manivelle. On comprend que cette machine a deux cylindres et deux pompes à air, quoique le dessin n'en montre qu'un de chaque sorte. Cette machine n'est pas assez compacte, elle occupe trop de place, et la course de ses pistons me paraît plus courte qu'il ne convient.

MACHINES DE LA FRÉGATE *SHARKIE*. — Ces machines de 550 chevaux furent construites par MM. Miller et Ravenhill, pour la frégate égyptienne *Sharkie*, et elles présentent un bon type de cette sorte d'appareil. Les pompes à air sont mises en mouvement au moyen d'un prolongement courbé du bouton de manivelle, ce qui donne moins de course à cette pompe qu'au piston du cylindre à vapeur. Le bout de la tige du piston est maintenu en ligne droite par des guides comme ceux des locomotives. Il n'y a pas de bâche, mais l'eau de condensation est directement jetée en dehors du navire par la pompe à air. Une bâche me paraît une inutilité dans toutes les machines, où les passages de la décharge de l'eau de condensation sont d'une grandeur suffisante.

MACHINES DU *TERMAGANT* ET DE *L'EUPHRATES*. — Ces appareils de 620 chevaux de force ont été construits par MM. Seaward pour les navires de S. M. B. *l'Euphrates* et *le Termagant* : ils ont quatre cylindres avec la bielle placée entre le piston et la manivelle, comme dans les locomotives; mais la traverse de la tête de tige de piston est très-courbée, de manière à mettre les deux branches sur les côtés de la boîte à étoupe, afin de donner un peu plus de longueur à la grande bielle. Les pompes à air sont mues par les manivelles des arbres des roues dentées, comme dans les dispositions de MM. Maudslay et Miller.

MACHINES DU *DAUNTLESS*. — Ces machines, construites par M. Robert Napier, sont de 580 chevaux de force, et ressemblent beaucoup à celles que MM. Miller ont fait à bord du vapeur *Sharkie*; mais la réduction de la course de la pompe à air est obtenue par un levier ou balancier, au

lieu de l'être par la courbure du bouton de mânivelle. Les différentes parties de l'appareil sont construites solidement et la tige de piston est prolongée à travers le fond du cylindre pour soutenir le poids du piston. Cette tige saillante est couverte par nn tuyau.

Machines de *la City of Glascow* et de *la City of Manchester and Glascow*. — Ces machines, construites par MM. Tod et Macgregor, ressemblent à celles usitées à terre et aussi à celles construites par M. Robert Napier pour *la Fire queen*, mais elles sont naturellement plus grandes. A la partie qui reçoit la poussée, l'extrémité de l'arbre passe dans une caisse d'huile, entre le côté de laquelle et le bont de l'arbre sont interposés deux disques de métal, traversés par un boulon central de manière à ne pouvoir glisser par côté. L'arbre presse snr ces disques, et si son frottement sur le premier est assez fort pour l'échauffer et se l'attacher, il en résulte qu'il l'entraîne et que les surfaces frottantes cessent d'être le bout de l'arbre et le premier disque, mais bien le derrière de celui-ci et le devant du second. Ce changement de surfaces frottantes permet à celles qui sont échauffées de se refroidir, pour le moment où elles sont de nouveau appelées à travailler. La seule différence entre la machine de *la City of Glascow* et celle de *la City of Manchester* est dans leur grandeur et quelques dispositions des bâtis.

Machines du *Brisk*. — Ces machines, construites par MM. Scott et Sinclair, ressemblent beaucoup à celles du *Dauntless*, mais elles sont un peu plus compliquées. De même que beaucoup de machines de cette sorte, elles n'ont point de bâche de pompe à air. La poussée de l'hélice est reçue comme à bord de *la City of Glascow*, et il faut ajouter que c'est maintenant une méthode très-répandue.

Machines ou *Bordeaux*. — Dans les machines du *Bordeaux*, constrnites par MM. Thompson de Glascow, il y a deux cylindres inclinés à 45° agissant sur une manivelle, dont le bouton est courbé pour diminuer son parcours et être articulé par son extrémité à un balancier servant à mouvoir la pompe à air et celles de l'alimentation et de la cale. On remarque que l'arc fendu des locomotives est adopté pour mouvoir les tiroirs, et la disposition générale, ainsi que le soin des détails, dénotent beaucoup de jugement et d'aptitude dans l'art des combinaisons mécaniques. Ces machines ayant été construites pour un navire du commerce, il n'a pas été nécessaire de les maintenir en-dessous de la ligne d'eau.

Machines du *Correo*. — Les machines du *Correo* présentent beaucoup d'analogio avec celles du *Bordeaux*. *Le Correo* est un navire en bois de

48^{m},80 de long, 6^{m},86 de large, 3^{m},965 de creux, et 3^{m},355 de tirant d'eau. La surface de sa maîtresse section immergée est de 18$^{m.q}$,577, et son chargement de 413 tonneaux. Il fut construit par M. John Brown de Dundee, et les machines sont de MM. Gourlay, Mudie et Co. de Dundee. Le diamètre des cylindres est de 0^{m},813 et 0^{m},801 de course, le nombre de coups de piston par minute est 45 et la force nominale 75 chevaux; le diamètre de l'hélice est de 2^{m},287, le pas est de 2,668, le nombre des ailes est 2, et celui des révolutions 120 par minute. La manivelle sur laquelle agissent les tiges de piston est forgée avec l'arbre comme dans les locomotives, et la pompe à air est mise en mouvement par une manivelle plus courte et séparée, fixée au bout de l'arbre dans ce but. La pompe de cale est articulée à l'un des bouts de la traverse de pompe à air et la pompe alimentaire à l'autre. Cette machine est d'une construction très-simple et solide.

Machines de *l'European*. — Ces machines construites par MM. Smith et Rodger pour le navire mixte *l'Européen* sont des exemples d'un nouveau type dessiné par M. David Napier, le plus grand innovateur en fait de machines marines; et depuis différents fabricants en ont construit un nombre considérable. Il y a deux cylindres, mais sur le plan on n'a tracé que la moitié de la machine. Chaque piston a quatre tiges qui s'élèvent à une grande hauteur au-dessus de l'arbre de l'hélice, et au sommet de ces tiges est une traverse du centre de laquelle descend la grande bielle, dont l'extrémité inférieure s'articule avec le bouton de la manivelle. Cette disposition est une variété de la machine en clocher, la grande bielle se trouvant au-dessus de la manivelle, et ayant son extrémité supérieure conduite par des guides, tandis que son bout inférieur suit le cercle de la manivelle. Chaque appareil a sa pompe à air, entraînée par des leviers en fer forgé, dont les extrémités sont unies par des sortes de menottes avec la traverse des tiges de piston. Le tiroir est à trois orifices et reçoit le mouvement d'un excentrique situé immédiatement au-dessus et qui tourne dans un cadre carré en bronze; celui-ci glisse dans un châssis qui permet le mouvement par côté, tandis que le va-et-vient vertical force le cadre lui-même de monter et descendre et d'entraîner le tiroir. Cette disposition est adoptée pour obvier à l'inconvénient d'une tige d'excentrique trop courte; elle la remplace entièrement, et elle est maintenant très en usage sur la Clyde. On remarquera que les deux pompes à air déversent leur eau dans une même bâche, d'où part le tuyau de décharge, et que la pompe alimentaire ainsi que celle de cale

sont placées de chaque côté de la pompe à air et sont conduites par sa traverse ou té, comme on le fait souvent. La poussée de l'arbre est reçue sur un bloc de métal de Babbit, plongé dans une citerne d'huile.

MACHINES DE *LA BICHE* ET DE *LA SENTINELLE*. — Cette disposition de machine a été dessinée par M. Holm, et le plan en est très-ingénieux. On observera que les deux cylindres sont placés avec leurs fonds en contact, et que chacun donne le mouvement à une roue, qui agit de son côté sur un pignon commun monté sur l'arbre de l'hélice. Dans cet appareil, chaque piston a deux tiges placées diagonalement, et de leur extrémité une grande bielle se dirige vers le cylindre comme dans les machines en clocher, et c'est en substance la machine de M. David Napier, mise sur le côté, à cela près qu'il n'y a que deux tiges de piston. Le condenseur est en-dessous des cylindres, et la pompe à air est menée par un bras qui s'étend de la traverse à laquelle sont unies les deux tiges de piston, et par conséquent elle a la même course que le piston à vapeur lui-même. Depuis que les pompes à air ont leurs clapets en caoutchouc, la rapidité de leur mouvement a cessé d'être un inconvénient, et il n'y a par conséquent pas de raison qui empêche de bien fonctionner celles qui ont la même course que le piston à vapeur.

MACHINES ARTICULÉES DIRECTEMENT A L'HÉLICE.

MACHINES DU *SIMOON*. — Ces appareils, construits par MM. James Watt et Cie (anciennement Boulton Watt et Cie), pour le vapeur de S. M. B. *le Simoon*, sont représentés sur la planche générale des machines directes, et consistent en quatre cylindres oscillants placés à plat, et dont les tiges de piston sont directement articulées aux manivelles de l'arbre de l'hélice. Deux tiges opposées sont unies à la même manivelle, et les deux autres à la seconde : le vilebrequin de l'arbre intermédiaire fait mouvoir les pistons des pompes à air, qui sont placées dans des positions inclinées l'une par rapport à l'autre, comme on le voit sur le plan : elles ont été omises sur l'élévation, afin d'éviter la confusion. Les tiroirs sont mus par l'arc fendu des locomotives, et sur le plan on voit le double excentrique nécessaire à ce genre de mouvement. Les soupapes de détente sont levées au moyen de cames elliptiques placées sur l'arbre, contre lesquelles les extrémités des tiges sont maintenues par des ressorts en spirale contenus dans des tubes. Les tiroirs sont comme ceux employés dans les autres machines oscillantes, et la poussée de l'arbre est reçue à un point inter-

médiaire entre l'appareil moteur et le contre-étambot, de manière que la machine elle-même n'éprouve aucun effort.

MACHINES DU *NIGER*. — Les machines pour le navire de S. M. B. *le Niger*, par MM. Maudslay fils et Field, ont aussi quatre cylindres placés horizontalement; mais ils sont fixes, et le mouvement est donné aux manivelles d'une manière semblable à celle de *la Biche* et de *la Sentinelle* déjà décrite. Deux tiges de piston sortent horizontalement de chaque cylindre à des hauteurs différentes, de sorte que l'une est au-dessus et l'autre au-dessous du niveau de l'arbre. Celles de chaque paire de cylindre sont unies à une traverse qui, naturellement, se meut en avant et en arrière dans l'intervalle entre les couvercles de la même manière que les pistons eux-mêmes : et, de cette traverse, part une grande bielle, qui s'articule à la manivelle et la fait tourner. Par conséquent, les cylindres de l'un des côtés de l'arbre sont plus près de la ligne de quille que ceux situés à l'opposé, puisqu'il faut laisser d'un côté l'espace nécessaire au mouvement de la bielle, ce qui n'est pas nécessaire de l'autre. Les pompes à air sont horizontales et mises en mouvement par un arrangement semblable à celui au moyen duquel le mouvement des pis ons est communiqué aux manivelles. Cette espèce de machine ressemble sous quelques rapports à celles de *la Pomone* et de *l'Amphion*, que je regarde sous le rapport de sa disposition générale, comme un des meilleurs types d'appareil direct qu'on ait encore produit; mais l'emploi de quatre cylindres et le raccourcissement de la course qui distinguent la machine du *Niger* ne sont pas, d'après moi, des perfectionnements. Ce changement occasionne un plus grand rayonnement de chaleur de la surface des cylindres, tandis que je ne déconvre aucune compensation à ce défaut. On remarquera, en examinant le plan des machines du *Niger*, que la poussée est reçue par l'extrémité de l'arbre de l'hélice et qu'elle est, par conséquent, transmise aux manivelles qui, dès lors, doivent être forgées de la même pièce que l'arbre. Les tiroirs sont mus par l'arc fendu des locomotives, qui se voit également sur l'élévation et sur le plan : leur grande largeur cache presque entièrement le cylindre : ils sont menés par des tiges communes aux deux tiroirs opposés, qui traversent d'un cylindre à l'autre.

MACHINES DE *L'ARROGANT* ET DE *L'ENCOUNTER*. — Les machines construites par MM. John Penn et fils, pour les bâtiments de S. M. B. *l'Arrogant* et *l'Encounter*, sont le premier exemple d'une nouvelle sorte d'appareil maintenant en usage pour tourner l'hélice. En les considérant sous

leur aspect général, elles me paraissent les meilleures machines à hélice qu'on ait encore faites. Elles ne doivent pas toutefois cet avantage à leur disposition générale qui, bien que digne d'être adoptée, ne doit cependant pas l'être sans objection. Mais elles le méritent surtout à cause de l'admirable ajustage de leurs détails, qualité pour laquelle les machines de MM. Penn ont été longtemps sans égales. Ces machines sont formées de deux cylindres placés horizontalement, et traversés par une pièce fondue avec le piston, qui a la forme d'un gros tuyau ou fourreau, au milieu duquel est articulé le pied de la grande bielle. Quand le piston est poussé en avant et en arrière par la vapeur, le bout de la grande bielle suit nécessairement ce mouvement et fait tourner la manivelle; le tuyau a un diamètre suffisant pour permettre à la bielle de prendre les angles nécessaires, pour suivre les mouvements de la manivelle sans toucher ses bords.

La pompe à air, qui est à double effet et par conséquent à piston plein, se trouve placée horizontalement dans le condenseur. Elle est mise en mouvement de la manière la plus simple, au moyen d'une tige qui passe à travers le couvercle, le piston et le fond du cylindre, à l'opposé du côté où se trouve la pompe. Il y a deux pompes à air, une pour chaque cylindre, et, comme elles sont à double effet, chacune a nécessairement deux clapets d'aspiration ou clapets de pied, et deux de refoulement où clapets de tête. Chacune des soupapes consiste en plusieurs disques en caoutchouc établis sur une plaque de bronze; cette disposition est expliquée plus au long dans le chapitre suivant sur les détails des machines. La pompe alimentaire et celle de la cale sont conduites de la même manière que celle à air, et par conséquent toutes ces pompes ont la même course que le piston à vapeur. Les tiroirs sont conduits par l'arc fendu des locomotives. La vapeur s'échappe du cylindre vers le condenseur par un gros tuyau d'éduction, qui vient de la partie supérieure de la chemise du tiroir, et s'incline vers le condenseur pour donner un écoulement naturel à l'eau qui, sans cela, s'amasserait par la condensation partielle de la vapeur. Les manivelles sont forgées de la même pièce que les arbres, et sont chacune soutenues des deux côtés de la bielle, condition nécessaire pour donner la solidité indispensable à des machines qui travaillent avec une grande vitesse; et une manivelle qui porte à faux est tellement sujette à tordre les bâtis, qu'à la fin elle les fait jouer, à moins qu'ils ne soient établis très-solidement. Le condenseur, avec les pompes à air dans son intérieur, n'est pas aussi grand que les

cylindres, et par conséquent les tuyaux d'éduction convergent en s'approchant de lui.

Les objections contre les machines à quatre cylindres s'appliquent aussi en grande partie à celle-ci; car les tubes intérieurs ou fourreaux peuvent être regardés comme des cylindres additionnels, en ce qu'ils présentent une surface réfrigérante considérable. Je pense qu'en général cette machine serait perfectionnée, si les fourreaux étaient abandonnés en faveur des doubles tiges de piston de *la Pomone* et de *l'Amphion*. Les cylindres pourraient alors être portés plus près des manivelles, et la longueur de la course serait augmentée, tout en conservant autant de simplicité. Je suis sûr que des machines faites, comme je le dis, seraient plus économiqnes en combustible que celles avec un fourreau, et c'est une considération tellement importante, que les autres doivent lui être sacrifiées.

Machines du *conflict*. — Ces machines, construites par MM. Seaward pour le bâtiment de S. M. B. *le Conflict*, sont en tout semblables à celles du *Termagant* déjà décrites, à cela près qu'elles n'ont pas d'engrenage. Ce sont quatre cylindres couchés horizontalement, avec des bielles placées entre les cylindres et les manivelles comme sur les locomotives. Les deux pompes à air sont verticales, ont peu de course et sont mues par des manivelles particulières de l'arbre de l'hélice.

Machines du *vulcain*, du *forth*, du *sea horse* et de *la megæra*. — Ces appareils construits par MM. Rennie ont quatre cylindres horizontaux, et leur aspect général ressemble à celui de *Conflict* : mais les pompes à air font un angle l'une par rapport à l'autre et sont mises en mouvement par une seule manivelle à l'extrémité de l'arbre de l'hélice. Les condenseurs sont de grandes chambres plates sur les côtés des cylindres, et ils encombrent beaucoup. Le plan de cette machine, quoique dénotant beaucoup d'habileté, dans la disposition des détails, n'est pas un de ceux qui seront imités, surtout parce qu'il serait dispendieux à construire.

Machines a hélice par MM. Blyth. — Ces machines ont 450 chevaux de force : elles étaient destinées à la propulsion d'une frégate de 74 canons, et, dans mon opinion, elles dénotent une très-grande habileté. Les cylindres sont oscillants et ont deux tiges de piston, ce qui vaut mieux qu'une seule, lorsque la vitesse est considérable, et cette modification permet en même temps à la manivelle de passer beaucoup plus près du couvercle, dans lequel il y a même une cavité pour lui permettre d'ap-

procher encore plus. L'arbre de l'hélice situé plus bas que celui de la machine, est tourné au moyen d'un cadre triangulaire, et, par cette combinaison, il n'y a évidemment pas de point mort, puisqu'un piston est au milieu de sa course quand l'autre est à la fin. Je pense qu'il serait désirable de se dispenser d'avoir des manivelles pour mouvoir les pompes à air et de leur donner le mouvement par celles des cylindres à vapeur avec un bouton de manivelle courbe ou excentrique. Les arbres de la machine seraient faits plus courts; et, afin que la solidité du bâtis ne fut pas diminuée, on lui donnerait une forme en diagonale, d'où il résulterait une augmentation de longueur pour les pelliers.

Machines a hélice par MM. Stothert et Slaughter. — La principale particularité de cette machine consiste en ce que les pompes à air sont disposées de manière à marcher moins vite que les machines. Ce but est atteint par l'interposition d'un engrenage, qui diminue la vitesse de la pompe, en renversant le rapport des roues admis ordinairement pour faire marcher les hélices. Les deux cylindres sont placés en diagonale dans un plan vertical à angle droit avec la quille. Comme chaque cylindre fait à peu près 45° avec la verticale, et par conséquent 90° avec l'autre, l'effet est le même avec les tiges de piston articulées à une seule manivelle, que lorsqu'elles sont parallèles et que les manivelles sont placées d'équerre : de la sorte, une seule manivelle suffit aux deux machines. Dans cet appareil, c'est un disque de métal, qui est employé au lieu de manivelle, au moyen d'un bouton planté sur sa surface. L'arbre sur lequel ce disque est placé entraîne un pignon engrené dans une plus grande roue, sur le côté de laquelle est un bouton, qui donne le mouvement à des tiges horizontales, articulées avec les mouvements de sonnette, qui conduisent les pompes à air.

Je ne pense pas que l'usage de cette machine se répande. Elle a été disposée pour surmonter une difficulté qui n'existe plus, et toute la disposition de mécanisme de la pompe à air entraîne à une complication superflue. Avant l'adoption du caoutchouc pour les soupapes de pompe à air, cette idée eût été utile, mais maintenant elle arrive trop tard. Dans les détails de ce plan, je ne puis rien découvrir qui mérite d'être imité; toutefois cette machine est très-compacte et montre beaucoup de capacité.

Machines du *Francfort*. — Ces machines, construites par MM. J. et G. Thompson, figurent parmi les meilleurs types des machines à hélices directes que nous possédons. Elles sont simples, compactes, solides, et,

sous tous les rapports, elles méritent d'être choisies pour les navires marchands; mais elles ne conviendraient pas aux navires de guerre, en ce qu'elles s'élèveraient au-dessus de la ligne d'eau. Leur disposition générale ressemble à celle que M. Nasmyth a employée pour son marteau-pilon; mais, dans ce dernier, la machine est naturellement à simple effet, et n'a pas de manivelle articulée au bout de sa tige. On voit par la figure qu'il y a deux cylindres et deux pompes à air, avec une bâche placée entre elles. Le condenseur est une grande caisse carrée située entre les cylindres et la bâche : le tuyau d'éduction y entre par le sommet, et un robinet d'injection fournit l'eau par le côté du condenseur opposé à chaque tuyau d'éduction. Les autres détails sont si faciles à comprendre qu'il suffit d'examiner la figure, et qu'il est inutile de s'étendre en longs détails. La machine est manœuvrée de dessus le pont, comme on le voit par la position des poignées des tiges d'enclanche. Ces machines ont $1^{m},00$ de diamètre, $0^{m},838$ de course, et la pression dans les chaudières est de $1^{k},123$ par centimètre carré. Plusieurs machines du même genre ont été faites par MM. Caird et Cie, par MM. Miller et Ravenhill et par d'autres fabricants.

Machines d'un vapeur suédois. — Ces machines, tracées par MM. Carlsund pour un navire à vapeur suédois, sont semblables, sous le rapport de la position des cylindres, à celles de MM. Stothert et Slaughter déjà décrites, mais les pompes à air sont menées par des bras tenus sur les tiges de piston; de sorte qu'elles ont la même course que le piston à vapeur. Les cylindres sont fixés entre deux cloisons étanches en tôle, s'étendant d'un côté à l'autre du navire, de manière à bien distribuer leur poids et leur effort sur toute la coque. Dans cet arrangement, M. Carlsund avait pour but de permettre de donner à cette partie du navire une section transversale triangulaire, c'est-à-dire des façons fines, et, en même temps, de placer l'arbre de l'hélice aussi bas que possible dans l'eau. La disposition de la machine remplit parfaitement ce but, mais, sous d'autres rapports, elle n'est pas satisfaisante. Les pompes à air sont placées dans les condenseurs situés eux-mêmes sous les cylindres, et les bielles sont à fourche, les tiges de piston se trouvant guidées par leurs extrémités, qui sortent en passant par des trous convenablement disposés. Les pistons, au lieu d'être plats, ont la forme d'une coupe, et les couvercles sont faits de même, de manière à entrer dans les pistons et à laisser assez de place pour les presse-étoupes des tiges. Les garnitures sont disposées d'une manière différente de celle usitée

en Angleterre : chaque piston est d'abord fait comme un grand bouchon solide, qui entre très-juste dans le cylindre, et ensuite on y tourne deux rainures dans lesquelles on introduit des anneaux d'un plus grand diamètre que le cylindre, mais avec des morceaux enlevés de manière à leur permettre d'entrer comme les garnitures ordinaires : une fois ces anneaux en place, le piston est introduit de force dans le cylindre. Il n'y a, par conséquent, pas de couronne, et quand les anneaux sont usés par le côté, on en met d'autres. Les clapets de pompe à air sont en bronze, et cependant faits de manière à produire très-peu de bruit, même lorsque les machines font 120 révolutions par minute. Ce but est atteint en donnant à la partie inférieure du clapet une forme conique, de manière que l'eau, en montant, le rencontre graduellement et l'ouvre par degrés. Quand il s'ouvre, il presse un ressort en boudin placé dans un tube fondu dans son sommet, et ce ressort a l'effet de fermer le clapet graduellement et sans choc dès que la pression n'existe plus. Je trouve que les soupapes de pompes en forme de cône, au lieu de celle en disques, sont indiquées dans le *Theatrum Machinarum*, de Leupold, publié en 1727, et ce moyen d'éviter les chocs est probablement très-ancien, mais excepté les machines de ce navire, je ne connais aucun exemple récent de l'application pratique de cette idée. Une roue portée sur l'arbre de l'hélice et le pignon qui l'accompagne, servent uniquement à tourner lentement les machines à force de bras.

Machines du *Princeton*. — Ces machines, construites par MM. Merrick et Towne d'après les dessins d'Ericsson pour le vapeur de la marine des États-Unis, *Princeton*, sont si détaillées et dessinées sur la planche, qu'une courte notice suffit ici. M. Watt eut l'idée de machines de cette sorte, et elles sont décrites dans les spécifications de l'une de ses patentes prise pendant le siècle dernier. Mais celles du *Princeton* ont été les premières réellement exécutées d'après ce principe et qui se soient élevées au-dessus du rôle de jouets. Avec autant de nouveauté dans la disposition et de difficulté apparente dans l'exécution, une manière de fonctionner médiocre pouvait très-bien être acceptée comme un succès. Mais le fonctionnement des machines du *Princeton* supporte une comparaison très-favorable avec les machines ordinaires, et j'apprends de M. Shock, auquel je dois les détails donnés sur la planche, que la vieille coque du *Princeton* étant hors d'état, un nouveau navire a été construit pour les machines qui, après avoir fonctionné dix ans, sont encore en très-bon état. *Le Princeton* est le premier navire dont l'appareil moteur ait été placé en dessous

de la ligne d'eau, et le but d'Ericsson, en faisant cette sorte de machine, était d'écarter les craintes de ceux qui redoutaient que l'inertie des parties mouvantes ne détruisit promptement toute la machine, avec la grande rapidité de mouvement nécessaire à toute machine directement réunie à l'hélice. On sait maintenant que cette idée est dénuée de tout fondement, quoiqu'elle soit enracinée chez certaines personnes qui affectionnent encore les machines à engrenages.

Il est clair, que dans cette machine le piston se meut comme une porte sur ses gonds, et l'arbre du piston qui répond aux charnières, étant prolongé au delà de la chambre de vapeur, donne le mouvement à la manivelle de l'hélice au moyen d'un levier court et d'une bielle. Le piston est rendu étanche sur ses quatre côtés par des garnitures métalliques, car on remarquera que l'arbre n'est pas placé sur l'arête même du piston, mais seulement à côté, et la petite partie située en dehors est rendue étanche dans l'intérieur du tuyau qui couvre l'arbre du piston.

Machines de *l'Étoile*. — Ces machines sont disposées aussi d'après les dessins d'Éricsson, et de nombreux bateaux de canaux et de rivières ont été construits par lui sur ce plan en Amérique; la plupart sont à haute pression. Dans cette machine il n'y a qu'un cylindre, et les bielles qui répondent aux bielles pendantes dans les machines, qui ont un té sur leur tige de piston, servent ici de grande bielle et font tourner des manivelles placées dans des directions opposées. La pompe à air est conduite d'une manière exactement semblable par les manivelles placées sur les arbres que le cylindre à vapeur fait mouvoir. Cette machine est la plus simple que je connaisse pour donner le mouvement à deux hélices en même temps. Pour les navires à petit tirant d'eau, et probablement pour toute sorte de bâtiments, deux hélices valent mieux qu'une. Si la machine est à haute pression, la pompe à air et tout ce qui la regarde est enlevé, et les autres parties restent ce qu'elles étaient auparavant.

Machines de *la Minx*. — Ces machines sont à haute pression ; elles ont été construites par MM. Seaward et Capel pour le navire de S. M. B. *la Minx*, et elles ressemblent à celles sur une plus grande échelle et avec quatre cylindres des mêmes fabricants; mais les cylindres placés l'un devant l'autre n'y sont pas employés. Ces machines sont si simples et leurs dispositions si claires, qu'elles ne demandent aucune explication.

Machines a hélice de M. Whitelaw. — Ces appareils sont, à bien dire, des machines de terre, avec un balancier à bras inégaux, dans le but de concilier ensemble une longue manivelle et une petite course de piston, et d'obvier à trop d'inertie des parties en mouvement; tandis qu'en même temps on arrive ainsi à ne pas produire une trop forte pression sur les articulations et sur l'arbre de l'hélice. On exagère beaucoup les dangers des chocs dus à l'inertie de grandes masses douées d'un mouvement de rotation rapide, et il n'y a aucune difficulté à faire marcher des machines avec les vitesses nécessaires pour les hélices, avec les proportions de longueur de course adoptées. Cependant les mécaniciens timides, dont la foi dans ces doctrines n'est pas forte, désireront avoir une sorte de compromis entre les grandes et les petites vitesses de piston, et ils trouveront ce qu'ils souhaitent dans la disposition de M. Whitelaw qui est très-répandue à bord des navires marchands.

Machines de *la Pomone*. — Ces appareils, dessinés par M. Holm et exécutés par M. Mazeline du Havre, sont des machines en clocher mises sur le côté; mais il y a deux tiges de piston au lieu d'une seule, et le bas du châssis triangulaire repose sur une glissière pour soutenir son poids et celui des tiges de piston. La pompe à air de chacune des machines est horizontale, à double effet, et mise en mouvement par un bras ou arc-boutant, qui part de l'une des extrémités du té des deux tiges de piston. *La Pomone* est le premier navire qui ait été construit avec des pompes à air à double effet placées horizontalement, c'est le second dont les machines aient été mises en dessous de la flottaison, *le Princeton* ayant été le premier. Ces machines sont, dans mon opinion, un très-bon type d'appareil à hélice direct, et même, à l'époque actuelle, je pense qu'il n'y aurait aucune amélioration à leur apporter. Elles ont une soupape de détente très-ingénieuse, et un anneau fixé de manière à être étanche sur le derrière du tiroir pour frotter sur le dos de la chemise, de manière à ne pas laisser la vapeur presser sur le tiroir lui-même. Les cylindres de cette machine ont $1^m,152$ de diamètre, $1^m,152$ de course, et les manivelles font 40 tours à la minute.

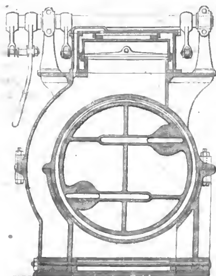
Machines a disque. — Quoiqu'il y ait plusieurs années que cette machine ait été exécutée, l'usage ne s'en est pas répandu, et il y en a fort peu qui soient réellement en action. La manière dont cet appareil fonctionne n'est pas facile à faire comprendre aux personnes qui s'en occupent pour la première fois; cependant je tenterai d'expliquer en peu de mots son mode d'action.

Un disque plat est placé dans un cylindre horizontal de peu de longueur et avec des extrémités coniques. Les sommets des deux cônes se rencontrent dans une grosse boule au milieu du cylindre, par lequel le disque est soutenu. Un diaphragme s'élève du côté le plus bas du cylindre jusqu'à la boule, et une fente est coupée de la circonférence au centre du disque, de manière à lui permettre d'entrer dans le cylindre, nonobstant l'existence du diaphragme. La vapeur entre dans le cylindre par un côté du diaphragme et s'échappe par l'autre, et, lorsque le disque porte sur le côté supérieur de l'un des cônes, il appuie sur le côté inférieur de l'autre. Du centre de la boule, un bras s'étend à l'extérieur du cylindre, et communique le mouvement du disque à une manivelle placée pour le recevoir. Maintenant si nous supposons le disque amené contre l'orifice de la vapeur, et que celle-ci soit admise, elle pressera d'un côté sur le diaphragme, et de l'autre elle cherchera à passer le point de contact du disque et du cône; mais, comme elle ne peut le faire, elle le poussera elle-même en avant comme un coin, en changeant constamment le point de contact, le faisant reculer et augmentant l'espace qu'elle occupe. Un mouvement oscillatoire est ainsi imprimé au disque, qui le communique à la manivelle, et l'action continue tant que la vapeur arrive dans la machine. Les premières machines à disque faisaient du bruit et avaient des fuites, mais ces défauts ont été complétement corrigés, et maintenant elles travaillent avec autant d'économie de combustible que les autres appareils à vapeur, et avec une plus grande régularité de mouvement, ce qui est un avantage pour quelques espèces de travaux. Cependant je ne crois pas qu'elles deviennent en usage pour la navigation. Une telle machine, d'une grande puissance et fonctionnant à la vitesse nécessaire à l'hélice, aurait un diamètre gênant, et il faut, dans la construction de ce genre d'appareil, une perfection d'ajustage qu'il serait très-difficile d'obtenir même avec toute la précision du travail des outils modernes.

Machines de *l'Amphion*. — Ces machines sont une sorte d'appareil en clocher placé à plat. Deux tiges de piston sortent du cylindre dans des plans verticaux différents, et en même temps dans des plans horizontaux différents aussi; ces tiges sont unies à une traverse qui se meut dans des guides et qui porte la grande bielle. Une saillie située sur le côté supérieur de cette traverse reçoit une des tiges de piston, et une autre placée en dessous contient l'autre tige. La figure 16 est la section verticale de l'un des cylindres et de son tiroir. On remarquera que les deux

tiges sont jointes au piston par des clavettes, et que la garniture est métallique : elle consiste en un anneau tourné excentriquement, et une cale en forme de V placée à la fente sert à remplir l'espace libre, et par la pression d'un ressort plat à étendre l'anneau. Le tiroir est à trois orifices comme celui des locomotives, mais il est fait en deux parties boulonnées ensemble, afin d'introduire une plaque percée qui sert de soupape de détente, et qui est mise en mouvement par une tige particulière qui perce la chemise du tiroir. Il y a un anneau appliqué contre le dos du tiroir, et il frotte contre la chemise sans laisser passer de vapeur : de la sorte il diminue la pression sur toute la surface comprise dans son contour au moyen d'une communication constante établie avec le condenseur par un petit tuyau, comme on le voit sur le coin supérieur à gauche du tiroir de la figure.

Fig. 16.



Section transversale du cylindre et du tiroir de l'*Amphion*.

Machines de *la Wasp*. — Ce sont des appareils oscillants ordinaires employés à donner le mouvement à une hélice, dont l'arbre fait un petit angle avec la ligne de flottaison, de manière à permettre à la machine d'être placée sous l'eau. Pour tourner la machine à bras, on emploie une disposition composée d'une vis sans fin engrenée dans une roue striée placée sur un petit arbre, et d'un pignon qui tourne une roue dentée fixée sur l'arbre de la machine. La poussée de l'hélice est reçue par de nombreux anneaux placés autour de l'arbre et tournant dans un support disposé pour cela près de l'arrière, et une poignée avec un mécanisme convenable est employée à tirer ce support et l'arbre lui-même vers l'avant, pour le rentrer quand il s'agit de monter l'hélice hors de l'eau.

Près de ce support est un espace libre entre les bouts des deux portions de l'arbre, pour qu'ils ne buttent pas l'un contre l'autre, quand on rentre celui de l'hélice. Un manchon couvre cette partie, et est disposé de manière à faire tourner l'une des deux portions de l'arbre par l'autre, tout en laissant celle de l'arrière libre de glisser suivant son axe, pour entrer ou sortir de l'arbre spécial de l'hélice, et par conséquent laisser celle-ci folle ou l'entraîner par le mouvement de la machine.

Machines de *l'Ajax*. — Ces machines, sont de la même construction que celles du *Niger* déjà décrites, et, dans la section verticale, on peut voir à quels points les tiges de piston sortent du cylindre. La poussée de l'hélice est reçue contre un montant en fonte placé dans ce but devant l'extrémité de l'arbre. Dans les commencements, le parquet des chauffeurs de ce navire était excessivement chaud, et il fut trouvé nécessaire d'employer une machine supplémentaire pour mouvoir un ventilateur et répandre de l'air froid dans l'intérieur.

Ce qui précède comprend toutes les remarques que j'ai à faire sur les différentes sortes de machines employées à mouvoir l'hélice. En général, j'ai une opinion très-favorable des dispositions dans lesquelles les cylindres sont placés horizontalement et où le mouvement est communiqué à la manivelle par une grande bielle, qui part de deux tiges de piston placées diagonalement comme dans la machine de *la Pomone* et de *l'Amphion*, et je suis persuadé que les dispositions de cette nature deviendront d'un usage presque général. Sans doute les détails de la machine de *la Pomone* et de *l'Amphion* peuvent être modifiés, mais non la disposition générale, qui ne laisse presque rien à désirer.

CHAPITRE X.

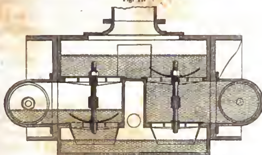
DÉTAILS DE LA CONSTRUCTION DES MACHINES ET DES NAVIRES A HÉLICE.

Afin que les machines directement unies à hélice soient à même de marcher avec la rapidité nécessaire, leurs pompes à air doivent avoir des clapets en caoutchouc. Les surfaces frottantes ou portages ont environ deux fois la longueur habituelle, et les bâtis, ainsi que toutes les parties fixes des machines, ont une grande solidité. Une course de piston courte produit un grand effort sur le bouton de manivelle et sur les palliers de l'arbre de l'hélice ; tandis qu'il n'en est pas ainsi avec une longue course : aussi dans les machines qui n'ont pas de balancier, je regarde comme désavantageux de rendre la course du piston très-courte, comme on le fait quelquefois pour diminuer le mouvement du piston. Son inertie n'occasionne pas de chocs, quand les manivelles sont forgées de la même pièce que l'arbre, comme les axes des locomotives, ou avec toute autre sorte de manivelle solide et bien soutenue ; mais si l'effort et le choc sont reçus par une manivelle en porte à faux, comme celles dont le bouton n'est lié à rien, il en résulte, si on marche très-vite, une vibration communiquée à tout le bâtis, surtout quand ce dernier n'est pas très-solide et calculé pour résister à la torsion. Pour diminuer l'influence de l'inertie, il faut rendre les pistons aussi légers que possible, et on y arrive en les faisant en bronze, ou en fer forgé. Si les cylindres sont oscillants, il sera utile de mettre des guides à leur tige ou de faire cette dernière très-forte, ou encore d'en avoir deux, comme dans l'arrangement de MM. Blyth ; car quelques cylindres oscillants, marchant à grande vitesse, ont cassé leur tige de piston au-dessous de la traverse ou té, qui la réunit au bouton de manivelle.

Soupapes de pompe a air. — Le premier perfectionnement des soupapes de pompe à air, pour permettre aux machines de fonctionner plus vite, a été l'adoption des clapets en toile à voile de la même dimension que les anciens en bronze, et à ces dernières soupapes ont bientôt succédé de nombreux petits disques de caoutchouc, qui agissent tellement

bien, qu'ils ne laissent rien à désirer. La figure 17 représente les soupapes

Fig. 17.



Soupapes de pompe à air de l'*Amphion*.

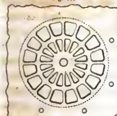
de la frégate de S. M. B. *l'Amphion*, le premier des navires construits en Angleterre avec les machines au-dessous de la flottaison, et avec des pistons se mouvant avec beaucoup de rapidité. Les siéges de ces soupapes sont tenus en place au moyen de tiges vissées dans des traverses s'étendant d'un côté à l'autre du condenseur.

La figure 18 est une section, et celle 19 est le plan d'une sorte de soupape employée par MM. Penn. La pompe à air est à double effet, son piston est plein, et pour chaque soupape de tête ou de pied on introduit un plateau percé d'un grand nombre de trous comme une grille, ainsi qu'on le voit, figure 19. Au-dessus de chacun est un disque de caoutchouc disposé comme on le voit sur la figure 18. Les flèches courbées montrent la direction suivie par l'eau; et la surface présentée à l'écoulement par ces nombreux orifices étant très-grande, les disques en caoutchouc ne sont élevés qu'à une petite distance du siége. Le nombre de ces disques substitués aux soupapes varie suivant les dimensions des machines, et dans un appareil de la force de 400 chevaux le nombre en serait de huit ou neuf par soupape : comme dans une telle machine il y a deux soupapes de pied et deux de tête à chaque pompe, et deux pompes à air à chaque machine : le nombre total de disques serait d'environ 64.

Fig. 18.



Fig. 19.



Soupape à disque de M. Penn pour la pompe à air.

La figure 20 représente l'espèce de disque employé par MM. Maudslay, et il n'offre qu'une petite différence dans la configuration du buttoir. Celui-ci doit être fait de manière à toucher le métal du grillage quand son boulon est vissé et serré, car il ne faut pas que l'effort de l'écrou porte sur le caoutchouc, sans quoi il serait découpé par cette pression. Les disques en caoutchouc ont environ 0m,150 de diamètre et 0m,015 d'épaisseur.

Fig. 20.



Soupape à disque de M. Maudslay.

Portages des coussinets de machines a hélice. — Dans les machines directes à hélice de MM. Penn, la longueur du portage des coussinets de l'arbre de la manivelle est habituellement double du diamètre, et tous les autres ont aussi plus de longueur que d'habitude. Les coussinets sont tous garnis avec le métal de Babbit (c'est ce qu'on nomme aussi le métal antifriction), dont l'étain forme la plus grande partie. Chaque coussinet est alaisé de manière à enlever assez de métal pour laisser une partie vide d'environ un quart de pouce (0m,006) afin de recevoir le métal doux ; mais un rebord est conservé autour du coussinet pour le retenir : alors on fait un mandrin tourné du même diamètre que l'arbre, on le met au milieu des coussinets et on verse le métal entre les deux. Les portages des coussinets de la plupart des machines à hélice sont actuellement faits de la sorte, mais dans beaucoup de cas on ne se sert pas de bronze, et le métal employé pour recevoir l'antifriction est de la fonte de fer, qui est alors aussi bonne, mais dont l'épaisseur est naturellement un peu plus forte, parce que sa force est moindre que celle du bronze. Dans les machines de *la Wasp*, les coussinets de l'arbre de l'hélice sont en fonte de fer garni de ce métal doux, et toutes les dispositions de cette machine montrent une grande habileté. Lorsque le métal doux est employé, je considère comme une précaution utile de laisser autour une largeur suffisante du métal qui le contient, que ce soit du bronze ou de la fonte de fer, pour permettre à la machine de continuer à fonctionner même quand le métal doux serait fondu; car c'est un accident qui s'est présenté plusieurs fois, tant dans les machines à engrenages, que dans celles unies directement à l'hélice. Il est convenable aussi d'amener un tuyau le long de l'arbre de l'hélice avec un robinet s'ouvrant sur chaque palier, de manière à pouvoir faire tomber un courant d'eau, sur les parties qui paraîtraient avoir une tendance à s'échauffer. De toutes les parties frottantes, la plus difficile à lubrifier, ou à rafraîchir, est le bouton de manivelle, et on a proposé différentes manières de le graisser

d'une façon efficace; la meilleure de toutes paraît être un petit tuyau tournant comme une manivelle, et au travers duquel passe l'huile nécessaire. Quand il n'est pas possible d'installer ce tuyau, un petit trou est foré dans la manivelle elle-même, dans le sens de sa longueur, pour servir de conduit à l'huile. Mais, il est presque toujours possible de placer un petit tuyau, dont un des bouts tourne dans une douille convenablement disposée dans la direction du centre de l'arbre, tandis que l'autre entre dans un godet placé au sommet de la grande bielle, qui alors n'a ni tube, ni lumière. L'huile est fournie par un petit réservoir placé à une hauteur suffisante pour la faire couler à travers le coussinet par sa pression hydrostatique, et un robinet sert à régler la quantité. Le même tuyau peut aussi servir à transmettre de l'eau, si c'est nécessaire, et avec une telle disposition il n'y a pas à craindre de voir les coussinets s'échauffer, tant que l'huile ne manque pas. MM. Maudslay, dans quelques-uns de leurs derniers appareils, opèrent la lubrifaction des coussinets de bouton de manivelle, en mettant à l'extrémité de chaque grande bielle une sorte de cheminée ou tuyau avec un plan incliné d'un côté. Les godets à huile sont pris dans les trous d'une traverse fixée au bâtis de la machine au-dessus des manivelles, et du fond de chaque godet part une mèche qui, par l'attraction capillaire, suce l'huile hors du godet comme à l'ordinaire, et amène une goutte au bout de ce fil pendant. Le tuyau porté par la manivelle vient toucher ce fil à chaque révolution et prend l'huile sur son plan incliné pour la faire tomber naturellement jusqu'au coussinet. Je pense qu'il serait préférable de laisser tomber une goutte, ou un petit filet d'huile dans le tuyau à chaque révolution, quand la manivelle atteint le point le plus élevé, et il n'y aurait aucune difficulté à faire que la machine ouvre un petit robinet, ou une petite soupape à chaque tour, afin que la quantité voulue d'huile descende au moment convenable, pour entrer dans le tuyau qui conduit au coussinet. A bord de *la Queen of the South* et de quelques-uns de leurs derniers appareils, MM. Maudslay font les coussinets de l'arbre de la manivelle en quatre portions; la plus haute et la plus basse sont maintenues par un chapeau de palier comme à l'ordinaire, et celles des côtés le sont par des coins poussés par des boulons passés dans les chapeaux. Dans les machines de ces navires, les cylindres font entre eux un angle de 45°, et leurs tiges fonctionnent sur la même manivelle, comme dans celles du *Bordeaux* ou dans les dispositions de MM. Stothert et Slaughter et de M. Carlsund.

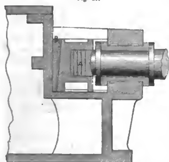
Dans beaucoup de machines fonctionnant doucement, ou à grande vitesse, les coussinets reçoivent de l'huile de la même manière que dans les anciennes machines à roues; mais ces procédés ne me paraissent pas suffisants, surtout dans le cas de mouvements rapides. Comme l'échauffement des tourillons est alors un accident très-sérieux, et que la facilité de s'échauffer est augmentée par la rapidité du frottement, il me paraît indispensable d'avoir non-seulement une plus grande surface frottante, de manière à diminuer la pression sur un même espace, dans le même rapport que l'augmentation de vitesse; mais en outre d'employer les moyens les plus efficaces de graisser et de rafraîchir. De grands godets avec de nombreux tuyaux ou orifices satisferont à ces conditions, partout où ils peuvent être facilement examinés et remplis. Mais, pour le bouton de manivelle, on ne peut agir ainsi, et il faut avoir des procédés de fournir en toute circonstance la quantité d'huile nécessaire à ses coussinets, sans être forcé de ralentir la marche pour en verser. La disposition particnlière adoptée pour cette partie dépend surtout de la configuration de la machine, et, dans beaucoup de cas, on peut adopter l'une de celles déjà employées.

Pour donner constamment un accès facile à l'arbre de l'hélice et à ses paliers, il est nécessaire de l'entourer d'un tube, ou plutôt d'une galerie en tôle d'une largeur suffisante pour le passage d'un homme. Afin de tenir les coussinets froids, il est bon de prolonger leur portage d'une longueur assez grande pour permettre de laisser une engoujure ou rainure dans le palier en fonte, près de chaque extrémité, afin d'y recevoir de l'eau, qui circule ainsi autour de l'arbre, rafraîchit constamment les deux extrémités de la partie où il frotte et l'empêche de s'échauffer. Pour cela, il faudrait un tuyau pour apporter l'eau comme on l'a déjà recommandé, et en avoir un second pour la reconduire vers qnelqne partie de la machine. Une circulation constante serait ainsi maintenue autour des parties les plus voisines des paliers, et, de la sorte, l'arbre serait maintenu froid, sans répandre de l'eau dans la cale, excepté toutefois celle qui s'échappe par les fuites. Il est clair que le réservoir nécessaire pour l'eau doit être formé en construisant les paliers aveo des extrémités à douilles, dans lesquelles entrent des collets qui ne pénètrent pas jnsqu'au fond, mais qui laissent assez de place pour former un anneau d'eau à chaque bout de la surface frottante. Quelle que soit la disposition adoptée, il faut s'arranger de manière que l'eau, qui s'échappe des extrémités des portages de l'arbre, soit conduite

dans le compartiment de la chambre de la machine, pour qu'il ne s'en répande pas une goutte dans la cale.

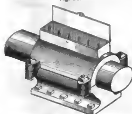
Manières de recevoir la poussée de l'hélice. — On a déjà parlé de la méthode de recevoir la poussée de l'hélice en interposant des rondelles mobiles entre l'extrémité de l'arbre et le point choisi en dedans du navire. La figure 21 représente cette disposition : une boîte en fonte, fixée à une partie convenable du fond du navire, a dans son intérieur une autre caisse disposée de manière à glisser et à recevoir la position qu'on désire, au moyen de la clef B. Dans cette boîte, est une série de disques ou rondelles, A, faites alternativement de bronze et de fer, et c'est sur le dernier de ces disques que l'arbre appuie. La caisse qui contient le tout est remplie d'huile. Quand cette méthode est employée, il est nécessaire d'avoir une buttée en dedans de l'étambot, pour recevoir la poussée quand la machine marche en arrière, et il est convenable qu'il y ait aussi au moins une rondelle dans cette partie. Il y a encore une manière plus habituelle de recevoir la poussée, c'est au moyen de nombreux collets en saillie formés sur l'arbre et s'introduisant dans des rainures correspondantes du palier, comme on l'a déjà expliqué au sujet de *la Wasp*. La figure 22 donne une représentation en perspective d'un

Fig. 21.



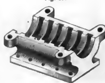
Extrémité de l'arbre de l'hélice du *Correo*, montrant la manière de recevoir la poussée.

Fig. 22.



Palier pour recevoir la poussée de l'hélice, employé par MM. Penn.

Fig. 23.



Palier ayant le chapeau enlevé.

Fig. 24.

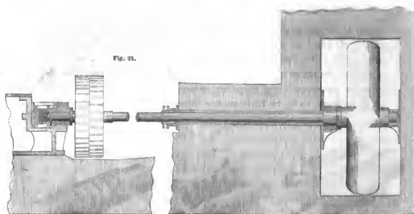


Colliers de l'arbre pour recevoir la poussée.

coussinet de cette nature avec son chapeau en place, et la 23 montre l'intérieur à découvert, tandis que la 24 représente l'arbre avec la suite

de collets laissés à sa surface : ils sont formés sur le tour en découpant dans le fer de l'arbre les intervalles laissés entre les collets. Les saillies ont environ 0m,025 d'épaisseur et 0m,025 de distance respective, et leurs angles sont un peu arrondis, au lieu d'être coupés à vive arête. Chaque collet est fourni d'huile par une mèche plongée par un bout dans un godet, et une rainure est pratiquée dans le chapeau de palier pour faire communiquer tous les compartiments, de sorte que si l'un vient à manquer d'huile, il en reçoit des voisins. Ce genre de portage ainsi que tous ceux des machines à hélice, se mouvant avec une grande vitesse, est garni de métal de Babbit. Avec cette disposition, il est inutile de garnir l'étambot avec une plaque pour la marche en arrière; cependant il serait utile d'en avoir une, si le palier dont nous parlons est mobile, comme on le voit souvent, afin de rentrer plus facilement l'arbre : car alors le palier glisserait vers l'arrière, si la machine était mise en mouvement après que le frein est desserré et le bout de l'arbre causerait du dégât.

Presse-étoupe et tuyau pour faire traverser l'arrière par l'arbre de l'hélice. — Les fig. 25 et 26 sont les sections verticale et horizon-

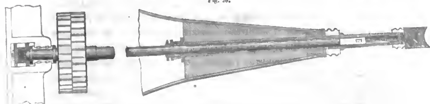


Section verticale de l'arrière du navire à hélice *le Correo*

tale d'une portion de l'arrière du navire à hélice *le Correo*. AA montrent les disques pour recevoir la poussée de l'hélice et B la clavette déjà représentée sur la figure 21, pour pousser les disques en avant lorsque c'est

nécessaire. Le petit arbre qui porte l'hélice forme un tuyau en bronze représenté en section sur la figure 26, dans lequel entre le bout carré de

Fig. 26.



Section horizontale de l'arrière du navire à hélice *le Correo*.

l'arbre de l'hélice et une clavette les réunit tous deux. Le presse-étoupe, pour empêcher l'introduction de l'eau et le tuyau qui traverse l'arrière sont représentés très-clairement sur ces figures. Les coussincts de l'arbre, situés dans l'eau sont sur le tuyau et sont par conséquent en bronze eux-mêmes. Les disques pour recevoir la poussée en arrière sont visibles sur les figures, ainsi que ceux pour soutenir celle en avant. On remarquera que l'arbre n'appuie pas sur toute la longueur du tuyau, qui sert à l'introduire dans le navire, mais seulement sur une certaine étendue à partir de chaque extrémité. Dans les machines de *la Wasp*, l'arbre porte sur toute la longueur du tuyau de l'arrière, et je crois cela préférable lorsque l'hélice sort par un manchon, car l'usure sera d'autant plus petite que la surface frottante sera plus grande. Mais, dans les appareils tels que ceux du *Correo*, dont l'hélice est disposée pour se monter, la solidité de l'arbre dépend surtout de la manière dont le dernier portage est établi. Ce coussinet est ordinairement trop court et d'un trop petit diamètre. Il faut non-seulement que le portage soit très-solide, mais il devrait y avoir des moyens de le maintenir et de l'élever sans être forcé de mettre le navire dans un bassin. MM. Penn introduisent un

Fig. 27.



Douille pour entourer l'arbre de l'hélice employée par MM. Penn.

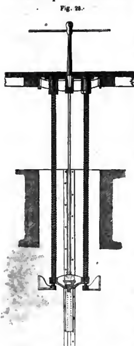
tube tel que celui de la figure 27, dans l'extrémité postérieure du tuyau qui passe à travers l'arrière : ce tube est garni de métal doux et une petite dent ou projection est laissée sur sa partie extérieure, pour s'enfoncer dans une cavité correspondante du tuyau, et l'empêcher de tourner dans l'autre, ce qui aurait lieu quelquefois sans cela. Lorsque ce tube est usé, on peut

l'enlever et en mettre un autre à la place. S'il était fait conique avec une section en spirale, on pourrait le serrer à mesure qu'il s'use, afin de l'enfoncer davantage dans le cône. Quels que soient les arrangements adoptés pour faire traverser l'arrière par l'arbre de l'hélice et pour assujettir son extrémité, il est très-nécessaire d'obtenir et de conserver la plus parfaite solidité, lorsqu'il tourne, et s'il y a du jeu, c'est un surcroît d'effort sur la charpente de l'arrière, qui se trouve être très-ébranlée. Pour diminuer la trémitation, il faut non-seulement que le trou du massif arrière, dans lequel tourne l'hélice, soit assez grand pour laisser un libre passage à sa rotation, mais que l'espèce d'enveloppe d'eau entraînée par les ailes ne rencontre pas la surface du massif : car, si cette enveloppe est arrachée à chaque révolution, le tremblement est plus violent et il en résulte aussi une perte de force. Dans la plupart des navires à hélice, on laisse un peu fuir le presse-étoupe de l'arbre pour lubrifier la garniture et l'empêcher de s'échauffer, et cette eau devrait être conduite dans le compartiment de la machine par un tuyau particulier, au lieu d'être laissée stagnante dans la cale. A bord de tous les navires en bois, l'hélice doit être en bronze et l'arbre est enveloppé de ce métal, jusqu'à ce qu'il sorte du tuyau de l'arrière, de manière à être protégé contre l'effet corrosif de l'eau de mer. Que les navires soient en bois ou en fer, il n'en faut pas moins que les coussinets de l'arbre de l'hélice plongés dans l'eau soient garnis de bronze et en général les surfaces doivent être convertes de bronze ou de métal doux, dans toutes les positions où il y a de l'attrition sous l'eau. A bord des navires où ces précautions n'ont pas été prises, l'arbre a été tellement rongé en peu d'années qu'il a fallu le remplacer.

Manières d'élever l'hélice. — C'est surtout à bord des navires de guerre, qu'on a trouvé utile de pouvoir élever l'hélice hors de l'eau. On exécute cette opération de la manière suivante : l'hélice est fixée sur un petit arbre séparé, soutenu par ses deux bouts par des coussinets contenus dans les bras d'un cadre disposé comme une fenêtre à coulisses, de manière à monter et à descendre dans des rainures pratiquées sur l'étambot et le contre-étambot. L'extrémité de cet arbre porte du côté du navire une douille carrée ou hexagonale dans laquelle s'encastre une partie semblable et en saillie de l'arbre de la machine, de manière que, dès que ce dernier tourne, il entraîne l'hélice. L'aspect général de cet arrangement sera compris en examinant la planche représentant le vaisseau *l'Ajax;* mais les figures ci-jointes montreront mieux les différentes

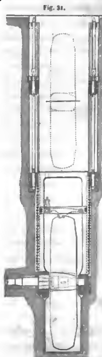
sortes d'expédients inventés pour monter l'hélice. Les figures 28, 29 et 30 représentent les dispositions adoptées pour élever l'hélice de *l'Amphion*. Une douille carrée est placée au-dessus de l'arbre d'une petite roue dentée sitnée au-dessous du pont, et cette douille est tournée par des poignées comme celles d'une tarière. Cette première petite rone en entraîne deux autres qui sont engrenées avec elle, et sont fixées au sommet de deux grandes vis verticales, qui, en tournant, montent le châssis. La figure 30 représente l'arrêt ou loquet destiné à retenir l'hélice dans une position verticale, lorsqu'il s'agit de la lever hors de l'eau.

Fig. 28.



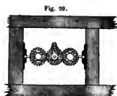
Élévation de l'appareil destiné à soulever l'hélice de *l'Amphion*. Echelle $\frac{1}{5}$ de pouce pour un pied, ou 0,017.

Fig. 31.



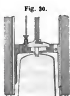
Élévation de l'appareil pour soulever l'hélice de *l'Ajax*. Échelle $\frac{1}{8}$ de pouce pour un pied, ou 0,01.

Fig. 29.



Plan de l'appareil destiné à soulever l'hélice de *l'Amphion*; même échelle que l'élévation.

Fig. 30.

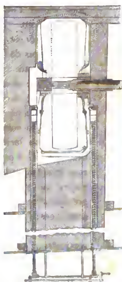


Arrêt pour retenir l'hélice de *l'Amphion*.

La figure 31 représente la disposition adoptée à bord de *l'Ajax* pour lever l'hélice : au lieu de longues vis, on emploie des pièces de vis fondues, introduites à des intervalles sur deux guides verticaux; et ces portions de vis tournent dans les côtés

du châssis glissant qui est convenablement denté de manière à leur permettre d'agir. D'après cela, avant que les dents de ce châssis quittent les filets d'une paire de vis courtes, elles sont engagées dans ceux de la paire suivante, et de la sorte on obtient le même effet que si on en avait employé de longues. La disposition représentée (fig. 31) est à peu près la même que celle adoptée sur *la Wasp*, où les vis sont tournées au moyen de rochets comme ceux employés dans les manufactures, et on obtient ainsi un très-grand effort avec un appareil très-peu compliqué. Un homme fait mouvoir la poignée de chaque rochet en avant et en arrière, et il n'y a pas de difficulté à faire agir les deux hommes ensemble afin de monter également les deux bouts du cadre.

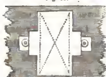
Fig. 32.



Élévation de l'appareil pour soulever l'hélice à bord du *Dauntless*. Échelle, 0,01.

Les figures 32 et 33 représentent la disposition adoptée à bord du *Dauntless*. On y emploie deux longues vis comme à bord de *l'Amphion*, mais elles sont tournées par un appareil ressemblant à un virevaut placé sur le pont. Les deux vis et le cadre du châssis sont en bronze et les coussinets de l'arbre court qui porte l'hélice, sont entourés de ce métal pour éviter la corrosion produite par l'eau de mer. On remarquera, sur ces différentes figures, qu'il y a une plaque interposée entre l'étambot et l'extrémité de l'arbre pour recevoir la poussée de l'hélice lorsqu'on marche en arrière.

Fig. 33.

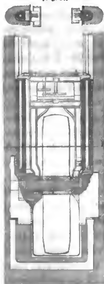


Plan de l'appareil pour soulever l'hélice à bord du *Dauntless*. Échelle, 0,01.

La figure 34 représente l'arrangement employé par MM. Seaward pour élever l'hélice, et il est très-différent des autres, en ce qu'il est basé sur le principe de la presse hydraulique. L'eau d'une petite pompe, mue par un procédé convenable, est conduite sous deux pistons pleins, sur le haut desquels repose le châssis qui porte l'hélice. Ces deux pistons plongeurs, au lieu d'être faits comme ceux des pompes alimentaires,

ont deux autres petits pistons cylindriques du même genre dans leur intérieur; de sorte que le tout ressemble aux différents tuyaux d'une longue-vue, chacun des tubes glissant dans l'autre de la même manière. D'après cela, il est évident que lorsque la pression de l'eau agira, le plus grand des tubes montera le premier et entraînera les plus petits avec lui; tout s'élèvera ainsi jusqu'à ce que le plus gros des tuyaux soit arrivé à sa limite, alors le petit commence à monter et ils continuent ainsi à s'élever jusqu'à ce qu'ils parviennent au buttoir placé pour les empêcher d'aller trop loin, ou jusqu'à ce que l'hélice soit arrivée à la hauteur convenable. La section transversale est faite par la ligne AB.

Fig. 34.



Section horizontale et élévation de l'appareil à soulever l'hélice à bord du *Hogue*. Échelle, 0,01.

Cheminées en télescope. — La planche qui représente l'intérieur du vaisseau *l'Ajax* montre la dispositiou pour élever et abaisser la cheminée. La manière dont cela s'opère est tellement claire qu'elle n'a pas besoin d'explication. Le but est de permettre d'abaisser les cheminées, comme on racourcit une longue-vue, et de les descendre audessous du pont quand le navire est sous voiles; par conséquent, la cheminée est faite de deux ou trois tuyaux de diamètres différents, afin de glisser les nns dans les autres. Au sommet de la partie la plus basse sont des poulics sur lesquelles passent des chaînes dont le bout est fixé au bas de la portion qu'il s'agit d'élever. L'antre bout de la chaîne est tourné sur un appareil mécanique qui, par sa traction, élève la portion intérieure. S'il y en a une autre dans celle-ci, elle est soulevée de la même manière, et les chaînes les maintiennent à leurs positions respectives. S'il s'agit d'abaisser la cheminée, il suffit de filer, ou de dévirer les chaînes, et la pesanteur fait descendre les différentes portions à lenr place dans la partie fixe qui ne dépasse pas le pont. On doit remarquer qne les cheminées de ce genre ont une très-grande action sur le compas, et que l'aiguille aimantée prend des directions différentes, suivant que la cheminée est élevée ou abaissée; il est donc necessaire de déterminer l'erreur ponr chacune des deux positions de la cheminée.

Ventilation. — Tous les navires à vapeur, à roues ou à hélice, exi-

gent des moyens efficaces de ventilation, et je pense que le petit cheval de tout vapeur portant des passagers devrait être fait assez fort, pour faire marcher un ou deux puissants ventilateurs, sans toutefois que ce fût avec une vitesse assez grande pour causer un bourdonnement désagréable. L'air serait conduit de ces ventilateurs à chaque cabine par des tuyaux en bois ou en tôle, disposés sous le pont, et il y aurait des dispositions pour rafraîchir ou échauffer à volonté cet air. Il faut naturellement avoir soin de ne pas prendre dans la machine l'air destiné aux cabines, sans quoi, il emporterait l'odeur de graisse et d'huile de cette partie du navire. Dans les climats chauds et surtout sur les paquebots encombrés de passagers, de tels moyens de ventilation sont indispensables pour la santé et le comfort. En 1847, j'eus occasion d'aller d'Angleterre dans l'Inde par les paquebots de la Compagnie orientale péninsulaire, et je revins par la même route. Dans les deux trajets, le navire était encombré de passagers et je trouvai que l'atmosphère des cabines, surtout pendant la nuit, était tellement viciée et nuisible qu'il semblait être une imitation parfaite du Black-bole de Calcutta, et que je passai presque toutes les nuits sur le pont. Je fis, en arrivant, des représentations aux directeurs, ainsi que beaucoup d'autres passagers, et M. Jackson, ingénieur de beaucoup d'habileté, qui se trouvait à bord, exécuta le dessin d'un ventilateur pour aérer les cabines, montrant avec combien peu de difficultés et de dépenses il serait exécuté convenablement. Nos représentations furent acceptées avec plaisir, et aussitôt il fut décidé que les procédés que nous avions proposés seraient exécutés. Mais, jusqu'à présent aucun moyen de ventilation des cabines n'a été exécuté.

CHAPITRE XI.

L'HÉLICE ET LES ROUES A AUBES COMBINÉES.

Je ne crois pas qu'il existe des navires poussés par l'action combinée des roues à aubes et de l'hélice; pourtant il y a quelques années que je proposai des bâtiments de cette sorte dans des circonstances qui exigent quelques digressions pour être appréciées.

La Peninsular steam packet Company, dont la *Peninsular and Oriental steam packet Company* est une extension, fut établie par le capitaine Bourne, mon père, qui avança plus de la moitié du capital nécessaire pour cette entreprise, tandis que le reste fut principalement fourni par ses frères et d'autres membres de sa famille. *Le Tage*, *le Braganza* et les autres premiers bâtiments de cette compagnie, construits sous ma direction, furent généralement regardés comme les meilleurs navires de leur temps; mais depuis longtemps j'ai cessé toute relation avec la compagnie, si ce n'est l'intérêt que j'ai porté à son succès, et mon désir de la voir prospérer. Cependant depuis quelques années son ancienne réputation est tombée, les premiers navires sont devenus vieux et lents; quelques-uns d'entre eux ont été perdus, tandis que les nouveaux ajoutés à la flotte de la compagnie se sont souvent trouvés être plus mauvais que les premiers, de sorte que le prestige avec lequel cette compagnie s'avançait, a bientôt cessé d'exister. Il en est résulté que diverses propositions ont été faites pour établir une entreprise rivale, et j'étais persuadé que si une telle concurrence était établie, il arriverait une des conséquences suivantes : la nouvelle compagnie obtiendrait le transport des dépêches, ou bien l'ancienne parviendrait à conserver ce privilége, et ce ne serait qu'après une lutte active, et sous des conditions tellement dures, que la partie contractante en tirerait à peine profit. Je communiquai ces idées à mon père, qui vivait encore alors, et à quelques-uns des directeurs de la compagnie, pour leur montrer la voie qu'ils me paraissaient devoir suivre dans la position où ils se trouvaient, et voici quelles furent mes recommandations.

Ce n'était pas sans fondement qu'on avait manifesté un mécontente-

ment général du manque de puissance motrice et de vitesse des navires de cette compagnie. La ligne qu'elle desservait était certes la plus importante de toutes les communications postales; les navires construits il y a dix ou douze ans étaient encore les meilleurs, tandis que ceux de construction récente étaient très-médiocres et très-lents en comparaison des nouvelles constructions des autres compagnies. Il était donc indispensable, pour satisfaire la juste attente du public, d'employer sur cette ligne des navires capables de marcher plus vite, et comme il fallait en venir là d'une manière ou d'une autre, on ne pouvait retarder le perfectionnement du service jusqu'à ce qu'une compagnie rivale fût organisée, et qu'il n'y eût plus de moyen d'éloigner la concurrence par des améliorations. Tout cela était clair, mais amenait en même temps la question : que faire avec les navires existants? On avait essayé d'accélérer la marche de quelques-uns, en leur donnant des roues articulées, sans en obtenir de bons résultats, et toutes ces tentatives de petites corrections me paraissaient, non-seulement futiles, mais même dénuées de raison, en ce qu'elles entraînaient à des dépenses considérables, et n'en laissaient pas moins les navires au-dessous de ce qu'ils auraient dû être réellement. Alors, considérant qu'il était impossible de vendre les anciens navires sans une perte immense, et que d'un autre côté il était également impraticable de les garder sans les modifier radicalement, et voyant aussi que les moyens ordinaires d'amélioration essayés au prix d'une grande dépense avaient été sans succès sensible, il me parut que le meilleur moyen serait de mettre dans chaque navire une machine séparée pour faire tourner une hélice, afin d'aider l'action des aubes. Il était évident qu'on obtiendrait ainsi un surcroît de puissance et une amélioration de vitesse pour satisfaire les nouvelles exigences. Je demandai donc à ce que l'un des petits navires de la compagnie, *le Madrid*, par exemple, eût une hélice disposée à l'arrière pour aider les aubes, et je trouvai qu'une paire de machines à hélice, de la même puissance que celles des roues à aubes existant à bord, c'est-à-dire de 140 chevaux, serait installée pour environ 800 livres sterling (20 000 fr.). Ces machines auraient été légères et peu coûteuses, en ce qu'elles n'auraient eu ni pompes à air ni condenseurs, et se seraient directement articulées à l'arbre de l'hélice. Si le résultat répondait à l'attente, on introduisait une disposition pareille sur de plus grands navires sans une trop grande dépense, et ils acquéraient une vitesse supérieure à celle de tous les autres vapeurs naviguant sur l'Océan. La compagnie

serait sortie ainsi de l'embarras où elle se trouve, en craignant que le discrédit de ses navires ne lui fasse perdre son contrat pour le transport des dépêches.

Cette proposition a éprouvé la même réception et le même sort que celle que j'avais faite antérieurement pour la ventilation des vapeurs. Après avoir été regardée comme un moyen de délivrance, elle fut oubliée complétement; d'autant plus que l'âge avancé, la maladie, et plus tard la mort de mon père s'opposèrent à ce qu'il s'occupât de ce projet avec l'activité nécessaire à sa réussite. M. Penn fut consulté sur la partie mécanique de la question, et ses vues coïncidèrent complétement avec les miennes, la seule différence était la supériorité, la force et la clarté avec laquelle il établissait ses projets. D'autres ingénieurs, auxquels ces questions ont été posées, sont arrivés aux mêmes conclusions que moi. Comme toute personne connaissant les détails des machines est à même de se former un jugement sur ce sujet, je rapporterai ici la nature des dispositions proposées et les avantages qui, selon moi, en seraient résultés.

J'ai dit plus haut que si la puissance d'un navire est doublée, sa vitesse augmente dans le rapport de la racine cubique de 1 à celle de 2. Par conséquent, un navire qui fait 10 nœuds avec une puissance quelconque, obtiendra environ 12 $\frac{1}{2}$ nœuds avec une force deux fois aussi grande, et je proposais de doubler la puissance motrice de tous les vapeurs dont la vitesse n'excède pas 10 nœuds, et qui se trouvent placés sur des lignes importantes : et cela sans toucher aux anciennes machines, mais comme je l'ai déjà dit, en plaçant une hélice à l'arrière et en la faisant tourner par une machine particulière articulée directement. Ces appareils supplémentaires n'auraient ni pompes à air ni condenseurs, mais la vapeur des chaudières devrait d'abord agir sur les pistons de l'hélice, et passer ensuite dans les cylindres des machines des roues, où elle serait condensée de la manière ordinaire. De la sorte, elle serait employée deux fois, et elle aurait produit une quantité double de puissance, sans qu'il en fût résulté un surcroît de consommation de combustible. Afin d'utiliser ces dispositions, il était nécessaire de fonctionner à une pression plus haute qu'on ne le faisait auparavant sur ces navires, et je proposais d'aller jusqu'à 25 lbs par pouce carré, c'est-à-dire 1^k,755 par centimètre carré, ce qui fait au moins le triple de la tension employée jusqu'à présent. Pour permettre de supporter cette pression, je proposais de faire des chaudières circulaires comme celles que M. Penn a con-

struites depuis sur *l'Hydra*, qui peuvent travailler à 30 et 40 livres par pouce carré, 2^k,106 et 2^k,808 par centimètre carré. Il serait naturellement impossible d'employer une pression aussi élevée que je le proposais dans les machines à roues à aubes existantes, en ce qu'elles seraient hrisées : mais la vapeur aurait d'abord agi sur les pistons de la machine à hélice; et ce n'était qu'après leur avoir imprimé le mouvement, qu'elle devait passer dans les cylindres des roues à aubes, et s'y condenser de la manière habituelle. La quantité de vapeur à produire avec le nouveau système était la même qu'avec l'ancien, et par conséquent elle aurait été ohtenue avec un poids égal de charbon; mais après être entrée dans les machines de l'hélice et s'y être détendue au point où les machines à aubes agissent d'hahitnde, elle était conduite anx cylindres de ces dernières, pour y agir de la même manière que si elle était arrivée directement de la chaudière. C'était par conséqnent une machine dans le genre de celle de M. Woolf; mais comme les cylindres employés à conduire l'hélice marcheraient avec une plus grande vitesse, ils seraient plus petits que ceux à haute pression des appareils de Woolf, en proportion de leur plus grand nombre de coups de piston.

D'après ce que j'ai dit précédemment sur le mode d'action de l'hélice dans l'eau, il est évident qu'nn tel propulseur employé à aider des roues à aubes, fonctionnera d'une manière plus efficace que s'il était seul à ponsser le navire; car celui-ci étant déjà entraîné par ses roues, l'hélice agira à chaque révolution snr une colonne d'eau d'une longueur plus considérable, et par conséquent son recul sera diminué. Et si la manière dont fonctionne l'hélice est améliorée par l'impulsion des aubes, de même l'action des roues est aussi rendue meilleure par l'influence de l'hélice. Car, puisque le navire traverse plus promptement le liquide par l'addition d'une hélice, les roues engrèneront pour ainsi dire dans nne plus grande longueur d'ean dans le même temps; cette eau présentera plus d'inertie, et par conséquent plus de résistance pour la même pression des pales; elle cédera donc moins sous leur impulsion, et rendra l'action des aubes plus efficace en diminuant leur recul. Dans le fait, les deux propulseurs agiront constamment dans des circonstances anssi favorables, que si le navire était ponssé par un bon vent; car l'hélice est comparativement nn hon vent ponr les roues, et celles-ci en sont un également avantageux pour l'hélice.

Il résulte de l'addition d'nne machine à hélice de pnissance égale à celle des roues, que l'effet total sera plus que doublé; car lorsque

le sillage sera augmenté de 10 nœuds à 12 ½ nœuds, le mouvement des pistons de l'appareil à roues à aubes sera plus rapide, et fera produire un quart de plus de travail qu'auparavant; et cette accélération due à cette petite addition de puissance, agira à son tour sur l'hélice pour augmenter légèrement sa vitesse, et par conséquent l'effet utile de sa machine. Mais je n'ai pas cru nécessaire de compter ce surcroît de puissance, sachant qu'il ne serait obtenu qu'au prix d'une plus forte consommation de combustible, et que la vitesse du navire ne serait accrue que dans un rapport un peu moindre que la racine cubique de la nouvelle force développée. De plus, si la vitesse du navire est augmentée d'un quart, et que la consommation de combustible par heure reste la même, il est clair que le bâtiment n'exigera que les trois quarts du combustible pour accomplir le même trajet. Par conséquent, les navires employés sur la ligne de l'Inde n'auraient plus que 450 tonneaux à prendre au lieu de 600 pour exécuter le même voyage; et le poids épargné de la sorte compenserait pleinement l'addition de celui de la machine à hélice.

D'après ces considérations, il paraît hors de doute qu'avec le mode proposé on gagnerait un quart de vitesse, tout en brûlant moins de charbon, et cela sans ajouter plus de poids dans le navire. La seule chose à considérer, est de savoir si des chaudières fonctionnant avec une pression de 25 à 30 livres par pouce carré (1k,75 à 2k,10 par centimètre carré) offriraient la sécurité convenable à bord des navires, où elles sont souvent incrustées de sel et exposées à rougir dans les foyers. Or, il est évident que toute chaudière dont les parois deviennent rouges, par quelque cause que ce soit, présente une source de dangers; mais un tel accident est très-rare, et je pense que les chances d'être encombré de sel seraient écartées par un moyen que m'a indiqué M. Penn, comme lui ayant été communiqué par M. Spiller, et qui me paraît présenter une sécurité parfaite contre les accidents de cette nature. Ce procédé consiste à employer une pompe alimentaire faite à dessein trop grande, relativement à la quantité d'eau à fournir pour remplacer celle évaporée, et n'ayant pas les moyens habituels de laisser échapper le surplus de ce qu'elle fournit. Il en résulte naturellement qu'il entre dans la chaudière beaucoup plus d'eau qu'il ne faut, et que le surplus est renvoyé à la mer par les extractions, qu'elles soient faites à la main en ouvrant le robinet, ou que ce soit par un flotteur intérieur disposé pour ouvrir une issue, quand le niveau est trop élevé. Avec cette simple pré-

caution, il sera impossible d'accumuler du sel dans les bouilleurs à un point dangereux, que la chaudière ait des fuites ou non; et toute objection basée sur la supposition d'un tel accident, n'existe plus. La question n'est donc pas autant de savoir si des chaudières avec une pression de 25 à 30 livres par pouce carré peuvent être aussi sûres que celles d'une tension beaucoup plus basse, mais de connaître si elles seraient faites de manière à présenter autant de sécurité que celles avec la même pression intérieure, mais qui ne sont pas disposées pour la supporter. A bord des navires récemment construits, on emploie très-souvent une pression de 20 livres (1^k,404 par centimètre carré), et dans quelques cas on s'est élevé jusqu'à 25 livres (1^k,75 par centimètre carré). Pourtant ces chaudières ont des côtés plats, et leur solidité est surtout basée sur des tirants, que le temps ronge, en laissant la chaudière dans un état dangereux. Il est vrai qu'à bord de ces navires, la pression est diminuée à mesure que le mauvais état de la chaudière augmente; mais un tel état de choses fait reposer toute la responsabilité sur le mécanicien, et dans la pratique il conduirait souvent à des accidents. Il me paraît donc, qu'au lieu de charger d'abord autant que possible la chaudière, et de diminuer sa pression à mesure que la rouille l'affaiblit, il serait beaucoup plus sûr de lui donner, dès le principe, une construction telle, que sans être soutenue par des tirants, elle supporte une pression beaucoup plus grande que celle de régime, afin de présenter la sécurité convenable, même lorsqu'elle serait devenue vieille et rouillée. Ce fut donc la voie que je proposai de suivre, et je crois toujours que c'était la meilleure.

Telles furent mes recommandations à la compagnie péninsulaire orientale, à l'époque où il était encore temps d'éviter les conséquences qui se sont présentées depuis ; après de longues hésitations, elles furent négligées. Une compagnie rivale fut formée pour transporter les dépêches, et le résultat fut qu'au lieu de 19 schellings 10 d. (24^f,75) par mille parcouru, qui étaient donnés pour transporter les dépêches de Calcutta à Suez, on ne reçoit plus maintenant que 7^f,95 par mille. En même temps la vitesse imposée est plus grande, ce qui équivaut à une nouvelle réduction de payement. Par le fait, la position de cette compagnie dans la mer Rouge est telle maintenant, qu'il vaudrait mieux pour elle n'avoir pas le transport des dépêches, en ce que la dépense de combustible, due au surcroît de vitesse qu'elle a entrepris de maintenir, suffit à elle seule pour engloutir toute la subvention du gouvernement. Pour augmenter le sillage d'un navire de 8 nœuds à 10 nœuds, il est nécessaire de doubler

la puissance motrice; et avec tout autre arrangement que celui que j'ai proposé, la consommation de combustible est accrue à peu près dans le même rapport que la puissance. Maintenant, admettant que le prix moyen du charbon dans la mer Rouge est de 62f,50 par tonneau, en comprenant le travail et le déchet, et que la consommation moyenne actuelle est de 1522 kilogrammes, il y aurait environ trois tonneaux brûlés par heure avec des appareils d'une puissance double. La dépense de combustible serait dès lors de 187f,50 par heure ou 18f,75 par mille parcouru, en supposant la puissance doublée pour obtenir une vitesse minimum de 10 nœuds. C'est 7f,50 ou 8f,75 de plus qu'avec l'ancienne marche : de sorte que sur cette ligne toute la somme donnée par le gouvernement couvrirait simplement le surcroît de dépense nécessaire pour se tenir dans les limites du nouveau sillage. Mais le surcroît de dépense de combustible n'est qu'une seule partie des nouvelles dépenses occasionnées par une plus grande vitesse : car celle-ci ne saurait être obtenue qu'avec des navires neufs. Une des conditions du nouveau contrat porte que les navires fileront 12 nœuds sur le mille mesuré, étant à leur tirant d'eau en charge. Cette clause me paraît très-sage, en ce qu'elle garantit pour le service des navires capables de le faire, au lieu d'occasionner des plaintes continuelles de l'insuffisance de force, et d'entraîner à rejeter le blâme des retards sur le mauvais temps, quand il devrait être imputé au navire. Il est douteux que des trente navires à vapeur, composant la flotte de la compagnie péninsulaire, il y en ait un seul qui remplisse ces conditions. Malgré la dépense occasionnée par des réparations et des améliorations microscopiques (*le Bentinck* seul a coûté de la sorte de 875 000 à 1 000 000 francs, et la plupart des autres des sommes aussi fortes, ce qui se monte dans le fait à plus qu'on n'en pourrait retirer s'il était possible de les vendre). L'impossibilité d'arriver à la vitesse nécessaire au service des dépêches n'existe pas moins autant qu'avant, et il faudra finir par construire de nouveaux navires. Dès lors, que faire des anciens? Sur les lignes où un grand sillage n'est pas nécessaire, ils sont incapables de lutter contre les navires à hélice. Sur celles où il faut au contraire marcher très-vite, ils ne peuvent arriver au point exigé. Si on les vend, ce sera donc pour peu de chose, car personne n'a besoin de tels navires. Si on les garde, ils encombreront et représenteront un grand capital, d'une valeur réelle très-petite. Mais ce ne sont pas là les seules considérations importantes : afin d'avoir une plus grande vitesse pour observer le nouveau contrat du transport

des dépêches, il faut employer des navires d'une plus grande puissance; et tandis que les recettes sont diminuées et les dépenses augmentées, un plus grand dividende sera payé à cause de l'augmentation du capital. La durée moyenne du passage de la mer Rouge par les navires de la compagnie pendant les douze mois, finissant en 1851, a été de 28 jours de Calcutta à Suez, et de Suez à Calcutta 24 jours, en comprenant les jours d'arrivée et de départ, ainsi que les temps d'arrêt à Madras, Galle et Aden. La traversée moyenne, allée ou retour, est donc d'environ 26 jours; et en admettant quatre jours pour les temps d'arrêt et les portions de jour des départs et des arrivées, on a 22 jours de traversée sous vapeur. La distance de Calcutta à Suez est 4757 milles marins, ce qui donne une vitesse moyenne de 9 nœuds à l'heure. Des navires ayant une marche moyenne de 9 nœuds, seront capables de s'engager à en maintenir une de 8 nœuds avec une certitude suffisante d'arriver toujours à temps; il serait cependant à désirer que la différence de la vitesse moyenne et de celle imposée par le contrat fût plus grande; car cette dernière devrait être par le fait le minimum, excepté lorsqu'il se présente des circonstances de retard extraordinaires; il est clair que sans ces précautions les navires arriveront toujours trop tard. Aussi, sur toutes les lignes exposées aux vicissitudes du vent et de la mer, la différence d'un nœud par heure entre la vitesse moyenne et celle imposée par le marché est la plus faible qu'on puisse accorder avec sécurité. Ainsi, un sillage moyen de 9 nœuds répondra à une marche de 8 nœuds par le marché, et celui de 11 nœuds, à 10 nœuds. Il résulte de ce qui précède, que sur la ligne de la mer Rouge l'accroissement de vitesse du marché de 8 nœuds à 10 nœuds entraîne une dépense de charbon, qui consomme à elle seule toute la contribution du gouvernement et que les navires actuels réaliseraient sans subvention les mêmes profits que les nouveaux avec la subvention. Dès lors, il est clair que des bâtiments à hélice obtiendraient plus de profit, et qu'établis sur une telle ligne, ils seraient plus avantageux sans la contribution de 7f,95 par mille, qui oblige d'avoir une marche moyenne de 11 nœuds, que les bâtiments ayant cette allocation, mais forcés à ce sillage. Toutes choses égales, les passagers préféreront les navires à grande marche; mais si des bâtiments à hélice sur la mer Rouge étaient associés à ceux du Lloyd autrichien d'Alexandrie à Trieste, on irait de Calcutta en Angleterre par cette ligne, à peu près dans le même temps que par les navires de la compagnie péninsulaire de Calcutta à Southampton. Ce qui aurait été perdu d'un côté de Suez serait gagné de

l'autre, de manière que la durée totale du voyage fût la même dans les deux cas; mais les dépenses des navires à hélice seraient moindres, et ils porteraient de la cargaison, tandis que ceux de la compagnie péninsulaire prennent tout au plus 80 à 100 tonneaux de Calcutta à Suez. Autrefois on avait supposé que les navires à hélice ne sauraient naviguer avantageusement sur la mer Rouge, parce qu'elle forme un long canal, dans lequel le vent souffle du fond vers l'embouchure pendant près de onze mois par an; et on avait pensé que les navires à roues conserveraient au moins le monopole de cette mer, à cause de la difficulté de louvoyer, contre ces vents constamment contraires. Cependant je n'ai jamais cru le moindrement à cette permanence d'obstacles, et, quoique jusqu'à présent les navires à hélice aient été incapables de lutter contre un fort vent debout sans une dépense exorbitante de combustible, et que s'ils ont peu de force, ils soient dans l'impossibilité d'avancer; j'ai toujours eu la conviction que ce défaut serait corrigé, et dans les pages précédentes, j'ai indiqué les moyens d'y parvenir. Désormais la mer Rouge sera parcourue par les navires à hélice avec la même facilité que la Méditerranée; et cette sorte de bâtiment remplacera certainement celle à roues à aubes, toutes les fois que ceux-ci ne seront pas soutenus par des subventions du gouvernement, assez fortes pour compenser le surcroît de dépense inhérent à leur emploi. Un contrat qui impose une grande vitesse pour une faible rétribution par mille parcouru, est un embarras plutôt qu'un bénéfice; et quoique désormais les termes du marché donnent à la compagnie orientale péninsulaire le monopole du transport des dépêches, les conditions n'en sont pas moins tellement changées, qu'une nouvelle compagnie peut lui faire concurrence avec des chances au moins égales. Ces résultats malheureux auraient été en grande partie évités, si ma recommandation pour accélérer la marche des navires avait été adoptée à l'époque où je la fis; et s'il en est ainsi, celui qui a empêché son adoption sans proposer quelque chose de meilleur, a certainement encouru une grande responsabilité, et ne mérite plus qu'on ait confiance dans les avis qu'il donnerait plus tard. Il est inutile de lutter contre des faits physiques. Quelques-unes des conséquences de cette fatale erreur sont déjà visibles; je prévois les autres, mais je laisse au temps le soin de les révéler.

Ces explications sont tellement étendues, que je terminerai promptement les remarques, que j'ai à présenter sur les avantages comparatifs des navires poussés en même temps par les roues et par les hélices, rela-

tivement à ceux n'ayant que l'un ou l'autre de ces deux propulseurs. Ce n'est que pour obtenir une grande marche pendant un long trajet, que je proposerais l'emploi simultané des roues et de l'hélice; mais en pareil cas, cette combinaison offre des avantages évidents, surtout si la comparaison est établie avec l'utilisation que les roues ou les hélices ont eue jusqu'à présent. Les navires à roues, quand ils sont lourdement chargés, sont incapables de développer utilement leur force, tandis que c'est dans ce cas que l'hélice agit le mieux. D'un autre côté, un navire à hélice luttant contre un vent contraire, gaspille beaucoup de puissance par le recul; et l'utilisation est améliorée en consacrant la moitié de la puissance à faire marcher les roues; car, non-seulement les aubes agissent alors plus efficacement, mais l'avance qu'elles donnent au navire permet à l'hélice de fonctionner plus utilement, en ce qu'elles l'amènent constamment dans une eau encore tranquille, et diminuent ainsi le recul. Par conséquent, un navire poussé par 500 chevaux appliqués aux roues, et par 500 autres employés pour l'hélice, marcherait mieux quand il serait lourdement chargé qu'avec cette force de 1000 chevaux appliquée seulement aux roues; et quand il aurait vent debout, il lutterait avec plus d'avantage que s'il était mû par 1000 chevaux employés à tourner une hélice. Par le fait, la combinaison proposée donnerait une plus grande utilisation moyenne, et cela d'autant plus que la machine à hélice serait plus légère et plus compacte que l'autre. Les roues à aubes ne seraient pas d'une aussi grande dimension que lorsqu'elles ont à résister à toute la puissance, et cependant elles auraient une prise suffisante dans l'eau. Si l'hélice ou les roues ont des avaries et ne peuvent fonctionner, le navire continuerait avec celui des deux modes de propulsion qui resterait intact, et n'éprouverait qu'une diminution de vitesse. Je pense qu'en général les navires disposés d'après ce plan, seraient meilleurs que s'ils étaient poussés seulement par les roues, et meilleurs aussi que s'ils l'étaient par l'hélice disposée comme elle l'est actuellement; mais ils ne seraient pas préférables à ceux à hélice, si celle-ci était installée de la manière que j'ai indiquée pour lutter contre des vents contraires. Aussi, ce n'est guère que pour améliorer la marche d'un navire à roues existant, que ce plan est recommandé, et je ne connais pas de manière d'arriver plus certainement à ce but en dérangeant aussi peu le mécanisme existant, et en l'exécutant avec moins de dépense. Lorsque je commençai à m'occuper des diverses manières d'accélérer la marche, d'autres moyens d'atteindre

le même but se présentèrent naturellement. L'un d'eux fut l'emploi de roues articulées, et la réduction du diamètre, afin de donner une plus grande vitesse aux pistons. Mais, comme on le pense bien, ce changement tombait dans la catégorie des petites améliorations, car il est impossible de beaucoup réduire le diamètre des roues sur des navires dont le tirant d'eau varie constamment, sans que cela produise d'autres inconvénients; et il ne paraît pas non plns convenable de trop accélérer le mouvement des machines, en ce que beaucoup de leurs dispositions ne sont pas assorties à cette rapidité. Une autre idée était d'interposer un engrenage entre la machine et les roues, mais cet expédient donnait lieu aux mêmes objections que le précédent; et si on avait exécuté l'un de ces deux projets, il aurait fallu augmenter la surface des anbes dans la proportion de l'accroissement de puissance, sans quoi le recul aurait été plns grand. Avec ces deux procédés, la consommation de charbou aurait été augmentée dans la même proportion que la force; tandis qu'en appliquant nne hélice, comme je l'ai proposé, l'accroissement de puissance n'en aurait pas entraîné dans la consommation du combustible; mais au contraire la quantité brûlée par mille parcourn serait plus petite qu'auparavant. Ainsi, dans tous les cas où on désire accroître beaucoup la vitesse d'nn navire à roues à anbes, la meilleure manière d'atteindre ce bnt, serait, selon moi, l'adoption d'une hélice auxiliaire, mue par une machine directe, recevant la vapeur à une haute pression de la chaudière et la transmettant aux cylindres des roues à aubes pour s'y détendre, et être ensuite condensée comme à l'ordinaire.

CHAPITRE XII.

RÉCAPITULATION ET CONCLUSIONS.

Je me propose de présenter dans ce chapitre un court résumé des principaux faits et des déductions détaillés dans les pages précédentes, afin que le lecteur, qui ne désire pas approfondir ce sujet, puisse cependant s'en former une idée juste et générale. Les principes les plns importants seront ainsi mis en évidence, et en même temps un coup d'œil général sera présenté.

Résistances des corps en mouvement dans l'eau. Dans le cas de navires à façons très-fines, la résistance paraît augmenter à peu près comme le carré de la vitesse, mais dans celui des formes ordinaires, cette résistance s'accroît dans un plus grand rapport. A bord du *Pélican*, lorsque la marche était portée de 6 ½ nœuds à 9 ½ nœuds, la résistance augmentait comme la puissance 2,28 de la vitesse, et ce surcroît d'obstacle paraît être dû à la différence du niveau de l'eau à l'avant et à l'arrière occasionnée par le navire quand il avance. Sur les canaux, cette cause produit un énorme accroissement de résistance, et il en est de même sur des petits fonds; de sorte que les bateaux destinés aux canaux ou aux basses eaux, doivent être beaucoup plus aigus aux extrémités. La résistance d'un navire varie beaucoup suivant sa dimension; avec les navires à vapeur d'une bonne forme et avec les vitesses ordinaires elle paraît être surtout causée par le frottement de la carène. Par conséquent, elle augmentera avec l'étendue de la surface mouillée, mais une extension de cette surface dans le sens de la longueur n'occasionnera pas autant de résistance que celle dans le sens de la largeur, car l'eau qui vient la toucher est déjà en mouvement. Dans tous les navires le périmètre, ou contour de la maîtresse section immergée, doit être un minimum, autant que c'est possible, en ne négligeant pas les conditions nécessaires à la navigation; car toutes les autres choses étant égales, la résistance variera à peu près comme la longueur du périmètre immergé. Dans les navires de formes semblables, mais de dimensions différentes, la vitesse obtenue avec la même puissance proportionnelle variera comme

la racine carrée de l'une des dimensions linéaires, de sorte que la résistance par pied carré de la section immergée changera comme l'une des dimensions linéaires; ou, en d'autres termes, elle variera comme la longueur du périmètre immergé. Pour diminuer le frottement de l'eau sur le fond des navires, il me paraît qu'il serait convenable d'interposer une couche mince d'air entre la carène et l'eau : elle serait facilement refoulée à travers une fente pratiquée dans un tuyau de chaque côté de la quille, et je pense qu'on obtiendrait ainsi un très-bon moyen de lubrifier la carène. Je remarquerai qu'il faudrait refouler plus d'air qu'il ne serait réellement nécessaire, afin de produire l'effet désiré; car, non-seulement il serait comprimé par la pression hydrostatique, mais aussi il serait absorbé en partie par l'eau. Les navires ayant une marche lente à la voile, peuvent aussi avoir leur vitesse augmentée en introduisant une couche d'air à l'avant et à l'arrière : car l'air ouvrirait aussi bien le chemin à l'étrave, qu'il remplirait le vide à l'étambot, et il formerait ainsi un taille-mer et un arrière artificiels et élastiques.

La résistance par pied carré de la section immergée du *Rattler* est d'environ 25 livres à une vitesse de 10 nœuds ou 122^k par mètre carré. A bord du *Pélican*, navire de plus petites dimensions (voy. pag. 89), la résistance fut estimée par MM. Bourgois et Moll à 30 livres par pouce carré ou 146^k,40 par mètre carré, à une vitesse de 9 $\frac{1}{2}$ nœuds. A bord de *la Minœ* la résistance par pied carré a été trouvée de 41 livres, 200^k,07 par mètre carré, à une vitesse de 8 $\frac{1}{2}$ nœuds; et avec à peu près la même marche j'estime que la résistance du *Dwarf* est 45 livres par pied carré ou 219^k,235 par mètre carré. La résistance du *Faon* et de *la Fairy* est estimée à 50 ou 60 livres par pied carré, c'est-à-dire 195^k à 244^k par mètre carré avec une vitesse de 12 à 13 nœuds à l'heure. Ces grandes variations de la résistance, suivant la surface de la section immergée, montrent qu'elle n'est pas l'élément par lequel la résistance doit être mesurée, et le périmètre de la section immergée, ou en d'autres mots, la longueur de la section transversale de cette partie de la carène du navire exposée à l'eau, serait, selon moi, une mesure préférable sous tous les rapports.

Avantages comparatifs des navires a roues et de ceux a hélice. Sur une eau calme, et placés dans leurs meilleures conditions, les navires à hélice ou à roues ont à peu près la même utilisation, et s'il y a un avantage, il est plutôt du côté de ces dernières, quoique la différence soit si petite, qu'il n'y ait pas à en tenir compte dans la pratique. Avec

un tirant d'eau exagéré l'hélice a un avantage marqué; mais aussi avec vent debout ce sont les roues qui ont une très-grande supériorité. Les navires à hélice gaspillent beaucoup de force lorsqu'ils luttent contre le vent; mais j'ai découvert un moyen de corriger ce défaut en enfonçant davantage l'hélice et en la plaçant plus en avant dans le massif arrière; avec ces dispositions les hélices ne perdront pas autant de force que les roues à aubes lorsqu'il s'agira de lutter contre des vents très-forts. Cependant jusqu'à présent les bâtiments à roues ont un avantage marqué sur ceux à hélice avec les vents frais et contraires; et si on établissait la comparaison entre la roue à aubes articulées et l'hélice, au lieu de la faire relativement à celle à palettes fixes, qu'on suppose employée dans tout ce qui est dit précédemment, l'avantage des aubes serait encore plus grand. Cependant, je pense que les navires à hélice, tels qu'on les construira bientôt, seront trouvés préférables à ceux à roues dans toutes les circonstances de la navigation; et si cette opinion est juste, les aubes seront bientôt abandonnées sur l'Océan. Toute la question consiste à savoir si on peut construire des navires à hélice capables de lutter contre les vents contraires, sans perdre plus de force que ceux à roues, et je ne doute pas que ce but ne soit atteint avec les moyens que j'ai proposés.

Nature et lois du recul. Il y a deux sortes de recul, le positif et le négatif; mais comme celui-ci n'est qu'un phénomène accidentel, il n'y a lieu de s'occuper que du premier. Le recul positif se décompose en deux parties distinctes : le recul latéral et celui vers l'arrière; le premier est la pénétration latérale des ailes de l'hélice; le second est le mouvement de l'eau vers l'arrière, occasionné par le manque d'inertie de ses parties pour résister à la force d'impulsion exercée par les ailes. Si la colonne d'eau, exposée à l'action de l'hélice, était gelée, il y aurait encore du recul vers l'arrière, en ce que l'inertie de l'eau serait la même qu'auparavant, mais il n'y aurait pas de pénétration latérale des ailes, et par conséquent pas de recul latéral, excepté si la colonne d'eau était entraînée de manière à tourner. Le recul latéral est toujours diminué en faisant l'hélice plus longue; mais en même temps le frottement augmente dans un rapport égal ou même plus grand. Le recul vers l'arrière ne saurait être réduit qu'en rendant plus vaste la surface qui agit sur l'eau, et cela serait obtenu en accroissant le diamètre de l'hélice, ou bien la vitesse du navire. On arriverait encore mieux à ce but en plongeant davantage l'hélice, en ce qu'alors une plus grande quantité d'eau serait

exposée à son action sans augmenter son frottement. La manière de distinguer le recul latéral de celui vers l'arrière a été expliquée page 136.

Sur toutes sortes de navires le rapport du recul à l'espace parcouru est à peu près le même avec des vitesses différentes; car si avec de grandes marches la poussée de l'arbre est plus forte, la quantité d'eau sur laquelle agit l'hélice est plus considérable aussi. Mais si la poussée augmente sans qu'il en soit de même du sillage, il y a nécessairement plus de recul. La réduction de longueur de l'hélice ou l'accroissement de son pas en occasionnent également davantage. Si les pas suivent une progression géométrique, les reculs seront en progression arithmétique, et ce résultat existera, quelle que soit la longueur de l'hélice. Beaucoup d'ailes donnent un peu moins de recul qu'un petit nombre, mais elles ont plus de frottement; et pour obtenir de bons résultats, il faut que le pas soit d'autant plus grand, que les ailes sont nombreuses, et que le diamètre employé soit très-grand.

Poussée de l'hélice. La poussée dépend en même temps du pas et de la force exercée sur l'hélice pour la faire tourner. La limite de la poussée de l'hélice, calculée dans la supposition qu'elle n'éprouve pas de frottement, peut être facilement déterminée par le principe des vitesses virtuelles, de même que dans le cas d'une vis tournant dans un écrou solide; mais comme une partie de la force motrice est absorbée par le frottement, la poussée réelle n'égalera jamais celle donnée par la théorie; elle sera d'environ un quart plus petite. Dans ce qui précède, j'ai généralement attribué cette perte de force au frottement seul, mais en réalité il y a lieu d'en imputer une partie au recul latéral, et, comme je l'ai expliqué plus au long à la page 136, cette sorte de recul peut être tout à fait supprimé en augmentant la longueur de l'hélice; il est vrai qu'alors l'accroissement de frottement occasionnerait autant de perte que le recul latéral tel qu'il est maintenant. Il est donc clair que ces deux éléments peuvent être diminués, et dans le cas d'hélices à branches nombreuses, la différence entre la poussée réelle et celle donnée par la théorie est presque entièrement due au frottement.

Frottement de l'hélice. La différence entre la poussée calculée théoriquement et celle exercée réellement sur l'arbre mesurée par le dynamomètre, fixe ce qu'il faut déduire pour le frottement et le recul latéral. La quantité totale de recul, soit latéral, soit suivant la direction de l'axe, est donnée par la différence entre l'avance de l'hélice et celle du navire; et si nous calculons la vitesse que la poussée exercée sur l'arbre de l'hélice

pendant le temps d'une révolution, donnerait à une colonne d'eau du même diamètre qne l'hélice et de la même longueur que le pas, ce sera en retranchant cette quantité du recul total que nous obtiendrons le recul latéral. Puisque nous connaissons ainsi la totalité de force consommée en frottement et en recul latéral; et puisque nous avons déterminé anssi la quantité de ce dernier, il sera facile de trouver approximativement la force employée par le recul latéral, et le reste exprimera ce qui est consacré à vaincre le frottement de l'hélice. La quantité de force consommée par ces deux éléments varie entre un tiers et un quart, ou nn quart à nn cinquième de la puissance totale développée par les machines, mais cela comprend le frottement des machines anssi bien que celui de l'hélice.

Action centrifuge de l'hélice. Le frottement de l'hélice et la pression latérale de ses ailes font tourner la colonne d'eau exposée à leur action; et il en résulte un mouvement centrifuge qui finit par être employé à élever le niveau de l'eau à l'arrière du bâtiment. Jusqu'à présent, lorsque les navires à hélice remorquent ou lnttent contre des vents contraires, ils gaspillent une grande quantité de force par cette cause, mais j'ai proposé d'utiliser pour la propulsion ce qui est inutilement dépensé de la sorte, en mettant l'hélice beaucoup plus sur l'avant dans le massif arrière, ou plutôt en se servant de deux hélices ainsi placées. Leur action centrifuge serait utilisée en occasionnant un courant supérieur qui presserait contre le plan incliné de l'arrière, pour le pousser de la même manière qu'une voile orientée obliquement. Au moyen de cette disposition, la pression vers l'avant serait toujours proportionnelle à la résistance éprouvée, et dès lors les navires à hélice auraient un avantage sur ceux à roues, dont l'impulsion est une quantité, qui ne saurait être augmentée. De la sorte, les navires à hélice lutteraient avec les vents contraires, contre lesquels les bâtiments à roues ne pourraient se tenir en route. Cette innovation serait surtout utile sur les navires à hélice auxiliaire qui, jusqu'à présent, ont été tout à fait incapables de lntter contre le vent debout.

Mesure de l'utilisation dans les navires a hélice. La mesure de l'utilisation dans les navires à hélice est donnée par le dynamomètre. Elle ne regarde que la machine et l'hélice, mais nullement la coque du navire : car, de deux bâtiments ayant la même puissance par l'indicateur comme par le dynamomètre, l'un peut porter plus de chargement, ou atteindre une plus grande vitesse. La puissance mesurée par le dynamomètre est la poussée sur l'arbre en livres, multipliée par l'espace par-

couru en pieds par minute et divisée par 33 000 : ou, en mesures françaises, c'est l'espace parcouru en mètres par seconde, multiplié par la poussée en kilogrammes : alors, elle est exprimée en kilogrammètres et si on divise par 75, on l'obtient en chevaux. L'utilisation du navire lui-même est le nombre de tonneaux que chaque cheval de la puissance réelle des machines transporte à une longueur de dix milles marins pendant une heure, et plus le navire est grand, plus cette sorte de quantité de travail est considérable.

Utilisation comparative de différentes sortes d'hélices. Les utilisations comparatives des hélices dépendent en grande partie des qualités des navires qu'elles poussent et des dimensions des hélices elles-mêmes. Si la grosseur des formes du navire ou la petitesse de l'hélice rend le recul très-grand, on obtient de meilleurs résultats d'une hélice dont le pas croît en même temps dans la direction de sa longueur et dans celle de son rayon, avec les ailes courbées légèrement vers l'arrière. Mais si l'hélice est proportionnée relativement au navire de manière à n'avoir que peu de recul, un pas uniforme est préférable à toute autre. Les hélices de deux, de quatre et de six ailes paraissent avoir à peu près la même utilisation : mais plus il y a d'ailes, plus il faut de pas.

Meilleures proportions des hélices. On donne le plus grand diamètre possible aux hélices à deux ailes, leur pas est à peu près égal au diamètre ou un peu plus grand, et leur longueur est environ un sixième du pas. Lorsque la dimension de l'hélice est augmentée relativement à la maîtresse section, ou si la résistance du navire est diminuée, le pas est fait plus grand et la longueur plus petite. Les meilleures proportions pour les hélices à deux, quatre et six ailes, construites sur le principe ordinaire, sont données page 118. Cependant, il est nécessaire de modifier beaucoup le principe habituel, et, en construisant un navire à hélice, ce ne seraient point là les éléments que j'emploierais, quoiqu'ils permettent d'obtenir des résultats aussi satisfaisants qu'aucun de ceux auxquels on soit arrivé jusqu'à présent.

Manière de connaître a l'avance la vitesse d'un navire a hélice. La vitesse d'un navire dont l'hélice est proportionnée de la manière habituelle, ou telle qu'on l'a expliquée à la page 118, sera la même à peu de chose près que celle d'un bâtiment à roues à aubes de forme, de dimension et de puissance égales. La manière de déterminer la force nécessaire pour obtenir une marche désignée, ou de savoir la vitesse produite par

une puissance donnée est expliquée à la page 45. Ayant déterminé auquel des navires de la table III de l'appendice ressemble celui dont on s'occupe, tant pour la forme que pour la dimension, on prend le coefficient donné dans la troisième avant-dernière colonne de la table, et on le considère comme celui convenant au navire dont on s'occupe. On multiplie le nombre réel de chevaux de la machine par ce coefficient, et on divise le produit par le nombre de pieds carrés ou de mètres carrés de l'aire de la maîtresse section immergée : on extrait la racine cubique du quotient, et on a la vitesse en nœuds par heure du navire.

Influence de la forme de la carène. La forme de la carène est peut-être la plus importante des questions, qui se rattachent à l'emploi de l'hélice, et la principale des conditions est de faire l'arrière très-fin. Du reste, les deux extrémités doivent être aiguës, et le navire très-long; il est bon qu'il soit large à la ligne d'eau, avec un peu de renflement sur les côtés, afin de lui faire bien supporter l'action des voiles sans trop incliner. La partie plongée dans l'eau ne saurait présenter des surfaces planes, et les fonds ne doivent pas être plats, mais avoir pour section une forme intermédiaire entre un demi-cercle et un triangle : le premier étant la figure qui, à surface égale, éprouve le moins de frottement, et le triangle étant celle qui présente le plus de stabilité. Afin de montrer l'importance des formes de l'arrière, il convient de rappeler les faits suivants : en 1846, on remplit par plusieurs couches de planches les façons de l'arrière du *Dwarf*, qui les avait très-fines, et on changea ainsi les formes, au point de les rendre semblables à celles d'un navire ordinaire. Avant ce changement, *le Dwarf* faisait 9,1 nœuds, et les machines donnaient 32 coups de piston par minute. Le remplissage des œuvres vives de l'arrière réduisit la vitesse à 3,35 nœuds par heure avec 24 révolutions de la machine par minute. On détacha une couche de planches du soufflage, et la vitesse s'éleva à 5,75 nœuds par heure, la machine faisant 26,5 révolutions par minute : et quand tout le soufflage fut enlevé, la marche fut de nouveau de 9 nœuds. On avait pris soin de disposer le soufflage de manière à le raccorder avec les formes du navire, afin qu'il n'y eût aucune irrégularité qui pût augmenter les défauts d'un arrière trop plein ; malgré cette précaution on perdit un tiers de la vitesse première. *Le Sharpshooter* et *le Rifleman* étaient deux navires semblables de 486 tonneaux et 200 chevaux de force. *Le Rifleman* fut disposé avec un arrière plein ou à grosses façons, tandis que *le Sharpshooter* eut des formes fines. Dans une expérience, la vitesse du *Rifleman* fut trouvée

de 7,9, et celle du *Sharpshooter* de 9,9 nœuds. *La Minx* et *le Teazer* sont des navires semblables de 300 tonneaux et 100 chevaux de force, le second avec un gros arrière, le premier avec des façons fines, la vitesse du *Teazer* fut trouvée de 6,3 nœuds et celle de *la Minx* 7,8 nœuds. Les arrières du *Rifleman* et du *Teazer* furent rendus fins après ces essais, et les machines de 100 chevaux du *Teazer* furent mises à bord du *Rifleman*, tandis que de nouveaux appareils de 40 chevaux de force furent placés à bord du *Teazer;* les deux navires marchaient mieux qu'auparavant. *Le Rifleman*, après avoir été rendu plus fin à l'arrière, atteignit 8 nœuds avec les machines de 100 chevaux, tandis qu'il n'avait que 7,8 auparavant avec ses machines de 200 chevaux. *Le Teazer,* devenu plus fin, atteignit 7,685 nœuds avec des machines de 40 chevaux, tandis qu'il n'avait que 6,3 nœuds avec celles de 100 chevaux. Les machines du *Teazer* furent transférées sur *le Rifleman*, et le firent marcher près de 2 nœuds plus vite qu'elles ne l'avaient fait à bord du plus petit navire, et cette amélioration fut surtout due à ce que les formes de l'arrière étaient plus fines.

Influence de la grandeur du navire. Après la forme de la carène, la grandeur du navire est la question qui présente le plus d'importance et influe le plus sur l'utilisation. La capacité d'un navire augmenté symétriquement devient plus grande en raison du cube de l'une de ses dimensions; l'aire de la section immergée suit le rapport du carré, et la résistance seulement celle de cette dimension elle-même. Par conséquent un navire d'une longueur, d'une largeur et d'une profondeur doubles aura huit fois la capacité, quatre fois la maîtresse section immergée, et seulement deux fois la résistance. A bord de *la Minx*, j'estime que la résistance par pied carré de la section immergée est d'environ 71 ½ livres (348k,90 par mètre carré), à une vitesse de 10 nœuds à l'heure, tandis que sur *le Rattler*, navire de plus grande dimension, la résistance par pied carré n'est que 25 livres (122k par mètre carré), à la vitesse de 10 nœuds. Les grands navires de bonnes formes sont à même de porter des marchandises à meilleur compte que les petits, et ils obtiennent aussi de plus grandes vitesses. Pour arriver avec la vapeur seule à la même marche, un bâtiment de huit fois la capacité d'un autre ne nécessitera que deux fois la puissance de ce dernier, et les voiles du plus grand navire produiront plus d'effet, car par le fait il y a une plus grande surface de toile déployée relativement à la résistance.

Action des voiles. — L'action des voiles sera meilleure et plus utile

sur de grands navires de bonnes formes que sur ceux de mauvaises et d'une petite échelle, c'est-à-dire qu'une surface donnée de voiles communiquera plus de puissance mécanique au grand navire avec une même force de vent. Afin qu'un navire soit capable de beaucoup serrer le vent, les voiles doivent présenter une surface presque plate et être percées de trous, ou bien être faites comme les jalousies et comme les voiles employées en Chine. On doit donner beaucoup d'élasticité aux parties du gréement qui unissent les voiles au navire, et, si au lieu d'être directement fixée au mât, la vergue l'était avec un de rocambeau à une espèce de beaupré court, sur lequel cette vergue pourrait courir, on obtiendrait l'élasticité nécessaire. La voile serait retenue soit par la pesanteur, soit par un ressort en spirale, comme celui des tampons élastiques des extrémités de wagons de chemin de fer, renfermé dans le beaupré, qui formerait un tube creux fixé au mât par un anneau, sur lequel il tournerait de la même manière que les vergues employées maintenant sur les navires de commerce.

Bateaux a vapeur sur les canaux et les rivières peu profondes. La résistance des bateaux à vapeur sur les canaux et les eaux peu profondes, augmente dans une très-grande proportion quand on cherche à marcher très-vite, comme on l'a vu à la page 165, et pour vaincre réellement cette difficulté, il faut des navires construits d'une manière toute différente de ceux employés habituellement. Le moyen que j'ai proposé dans ce but est un train de barques tirant peu d'eau, articulées les unes aux autres, de manière à constituer un seul bateau long et étroit, pour que les extrémités soient extrêmement fines, et enfoncent très-peu, afin de déplacer l'eau très-graduellement. La machine à vapeur au lieu d'agir sur l'eau le ferait sur le fond du canal, elle pousserait ainsi le bateau sans éprouver de recul et produirait un meilleur résultat.

Navires en fer et navires en bois. Les navires en fer me paraissent être les plus avantageux, excepté lorsqu'ils sont destinés à rester six mois, ou plus, dans les pays tropicaux, sans y trouver les moyens de passer au bassin, et pour de pareilles absences, les navires construits avec des cornières en fer et bordés en bois de teck du Malabar me paraissent être les meilleurs : quand on n'a pas de ce bois, il est possible d'en employer d'autres. Les navires en fer peuvent être garantis des herbes et coquilles pendant six mois, en les couvrant d'une peinture de Mallet, contenant du poison. Une peinture de cette sorte est composée par M. Peacock de Southampton.

Manière de construire les navires. — Tous les navires en fer ou en bois devraient être construits comme une poutre creuse, et par conséquent leur principale force serait surtout concentrée au fond et sur le pont, en ce que ce sont les parties qui éprouvent le plus d'effort. Les côtés n'exigent pas autant de solidité que le haut et le bas, et il faut que le pont soit construit avec tout le navire de la même manière que le fond, au lieu de n'être qu'une plate-forme, clouée après coup. Les ponts des navires en fer devraient être en fer, couverts avec cette sorte de ciment employé en Chine à enduire les planches, et qui remplit très-bien ce but. Dans les bâtiments actuels il y a trop de cornières; elles ne donnent pas de force longitudinale, et ne servent qu'à conserver la forme de la coque; un plus petit nombre remplirait ce but. Une cornière par hau est très-suffisante, et ces deux pièces devraient être faites d'une manière continue, afin d'entourer le navire par un anneau intérieur.

Dépense du transport sur les navires a roues a grande puissance, sur ceux a hélice a machine auxiliaire et sur les navires a voiles. En supposant que dans chacun des cas le navire soit capable de porter la même quantité de marchandises, la dépense du transport d'un tonneau sera au moins trois fois plus grande sur le navire à roues que sur celui à hélice, et à bord du bâtiment à voiles elle sera d'environ un tiers de plus que sur celui à hélice. Par conséquent ce dernier est le plus économique, mais cela ne provient nullement de ce que l'hélice est un meilleur propulseur, c'est-à-dire de ce qu'elle utilise mieux la force : c'est le résultat de l'emploi d'une petite proportion de puissance, qui, sans entraîner beaucoup de dépenses directes, produit un grand bénéfice en permettant au vent de mieux agir sur les voiles; et c'est aussi le résultat des formes préférables adoptées pour les carènes, lorsqu'il s'agit d'employer l'hélice. On s'est récemment servi d'une sorte de navire qui, même sans le secours d'une hélice, obtient une grande vitesse; mais je pense qu'on trouvera utile de placer ce propulseur même sur les meilleurs navires à voiles, en ce qu'ils seront ainsi capables de transporter les marchandises à meilleur compte et plus rapidement.

FIN.

APPENDICE.

TABLE I. — DIMENSIONS DES NAVIRES A HÉLICE DE LA MARINE DE SA MAJESTÉ BRITANNIQUE.

NOM.	NAVIRES.						MACHINES.						PROPULSEUR. DIMENSIONS.			NOM du fabricant des machines.
	TONNAGE.	DIMENSIONS. LONGUEUR entre perpendiculaires.	DIMENSIONS. LARGEUR extérieure.	TIRANT D'EAU MOYEN d'après le devis.	Surface de la maîtresse section au tirant d'eau du devis.	Déplacement au tirant d'eau moyen en charge du devis.	DIAMÈTRE des cylindres.	LONGUEUR de la course du piston.	NOMBRE de cylindres.	PUISSANCE nominale.	Charge par centimètre carré sur les soupapes de sûreté.	MULTIPLE de l'engrenage.	Diamètre.	Pas.	Longueur.	
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9	10.	11.	12	13.	14.	15.	16.
	tonneaux.	mètr.	mètr.	mètr	mètres carrés.	tonneaux.	mètres.	mètr.		chevaux.	k^{es} par c. q.		mètr.	mètr.	mètr.	
Ajax	1788	53,68	14,80	0,633	71,127	2912	1,307	0,762	4 horiz.	450	0,421	Direct.	4,006	8,106	1,015	Maudslay.
Amphion	1407	53,06	13,17	6,112	51,083	2010,8	1,203	1,220	2 horiz.	300	0,702	Direct.	4,173	6,405	0,702	Miller.
Archer	964	54,90	10,32	4,498	36,065	1337	1,182	0,015	2 horiz.	200	0,702	3 à 1.	2,745	2,363	0,405	Miller.
Arrogant	1900	61,00	13,05	6,400	58,788	2600	0,608 / 1,524 = 1,397	0,013	2 horiz. à fourreau.	360	0,351	Direct.	4,727	4,572	0,702	Penn.
Bee	43,8	10,21	3,71	0,968	22,96	28,3	0,503	0,010	1 balanc^{r}.	10	»	6 à 1	0,040	1,113	»	Maudslay.
Blenheim	1850	88 25	14,70	0,633	71,127	2912	1,321	0 066	4 horiz.	450	0,202	Direct.	4,880	6,100	1,015	Seaward.
Brisk	1000	58,80	10,67	4,402	34,564	1478,0	1,371	1,067	2 horiz.	250	»	1,23 à 1.	»	»	»	Scott.
Conflict	1053	58,58	10,47	4,803	41,166	1828	1,152	0,310	4 horiz.	400	1,173	Direct.	4,147	5,032	0,830	Seaward.
Cracker	»	»	»	»	»	»	0,711	0,010	2 horiz.	60	»	2 à 1.	»	»	»	Rennie.
Dauntless	1502	66,51	12,10	5,135	50,075	7432 0	2,132	1,220	2 horiz.	306	0,561	2,270 à 1.	4,491	4,920	0,864	Napier.
Desperate	1057	55,71	10,17	4,803	41,166	1028	1,307	0,702	4 horiz.	400	0,561	2,182 à 1	3,985	4,770	0,710	Maudslay.
Dwarf	166	39,75	5,03	»	»	»	1,000	0,818	2 vert.	90	0,581	5,15 à 1.	1,728	2,440	0,305	Rennie.
Edinburgh	»	»	»	»	»	»	1,397	0,702	4 horiz.	450	»	Direct.	»	»	»	Maudslay.
Encounter	967	57,05	10,12	4,244	35,807	1492	0,608 / 1,524 = 1,337	0,685	2 horiz. à fourreau.	300	»	Direct.	3,660	4,575	0,702	Penn.
Enterprise	»	»	»	»	»	»	»	»	rotative.	5	»	Direct.	»	»	»	Beale.
*Erebus**	373	31,37	8,70	4,205	30,268	715,6	»	»	0 locom.	30	»	Direct.	»	»	»	Maudslay.
Euphrates	»	66,71	12,35	5,070	42,043	2402	1,574	1 067	1 horiz.	620	»	0 à 1.	»	»	»	Seaward.
Eurotas	»	»	»	»	»	»	1,100	0,702	4 hor. osc.	360	»	Direct.	»	»	»	Watt.
Fairy	317	44,12	3,41	1,525	6,908	178,5	1,051	0,915	2 vert. osc.	120	»	3 à 1.	1,861	2,140	0,405	Penn.
Forth	»	»	»	»	»	»	1,210	0,010	4 horiz.	350	»	Direct.	»	»	»	Rennie.
Greenock	1433	64,06	11,40	4,875	41,700	1960	1,203	1,220	2 horiz.	501	»	2,35 à 1.	4,270	3,963	0,661	Scott
Highflyer	1170	58,54	11,08	4,803	43,240	1757,4	1,307	1,220	2 horiz.	250	»	7,7 à 1.	»	»	»	Maudslay.
Hogue	1074	56,12	14,75	0,333	71,127	2012	1,301	0,915	4 horiz.	450	0,702	Direct.	4,005	6,445	0,990	Seaward.
Horatio	1106	47,05	17,20	5,632	48,870	1707	1,370	0 914	2 horiz.	250	0,012	1,017 à 1.	4,270	3 965	0,661	Seaward.
Hornet	»	»	»	»	»	»	0,680	0,610	2 horiz.	60	»	1,61 à 1	»	»	»	Maudslay.
Investigator	»	»	»	»	»	»	»	»	rotative.	5	»	Direct.	»	»	»	Beale.
Megæra	1413	63,13	11,31	4,880	45,230	2046	1,210	0,610	4 horiz.	350	0,561	Direct.	1,052	4 380	0,325	Rennie.
Minx	307	39,95	8,73	1,525	7,137	188	0,850	0,336	2 vert. osc.	100	0,702	4 à 1.	1,372	1,125	0,305	Miller.
Id. nouv. mach.	»	»	»	»	»	»	»	»	7 horiz.	10	4,247	Direct.	1 525	1,117	»	Seaward.
Miranda	1065	50,70	10,37	4,417	34,657	1522,7	1,422	1,443	2 horiz.	250	»	2 13 à 1.	»	»	»	Napier.
Niger	1080	50,27	10,57	4,727	38,006	1454	1,193	0,059	4 horiz.	400	0,361	Direct.	3,012	5,297	0,702	Maudslay.
Phœnix	821	63,21	0,71	3,733	27,587	1021	1,575	1,374	3 vert. osc.	260	0,421	4 à 1.	3,820	2,910	0,453	Penn.
Plumper	107	42,71	8,20	3,407	20 322	877	0,688	0,010	2 vert. osc.	60	0,903	2,8 à 1.	7,745	2,135	0,356	Miller.
Rattler	901	53,83	0,07	3,404	26,171	881	1,003	1,220	4 vert.	200	0,351	4 à 1.	3,050	3,353	0,380	Maudslay.
Reynard	524	44,03	0,49	3,507	22,190	655,3	0,711	0,610	2 horiz.	60	0,983	7 à 1.	2,668	2,410	0,405	Rennie.
Rifleman	103	46,75	8,11	3,329	20,314	631,1	1,152	0,015	2 horiz.	200	0 702	2 à 1.	2 140	2,745	0,457	Miller.
Id. nouv mach.*	»	»	»	»	»	»	0,850	0,336	2 vert. osc	100	0,702	2,5 à 1.	2,140	2,745	0,457	Miller.
Sans-Pareil	2369	61,45	15,80	8,938	65,473	3484,1	1,100	0,702	4 hor. osc.	350	»	Direct.	»	»	»	Watt.
Seahorse	»	»	»	»	»	»	1,240	0,010	4 horiz.	360	»	Direct.	»	»	»	Rennie.
Sharpshooter	516	46,73	0,10	3,204	21,215	020	1,452	0,015	7 horiz.	200	0,702	3 à 1.	2,140	2,745	0,457	Miller.
Simoon	2010	75,03	12,50	5,183	52.683	7783	1,100	0,702	4 hor. osc	350	0,701	Direct.	»	»	»	Watt.
Teazer	290	39,33	0,65	1,825	7,137	192	0,050	0,015	2 vert. osc	100	0,702	4 à 1.	1,672	1,776	0,303	Miller.
Id. nouv. mach.	»	»	»	»	»	»	0,680	0,702	2 vert. osc.	40	0,632	1,73 à 1.	1 575	2,155	0,330	Penn.
Termagant	1770	64,07	13,35	4,092	12,046	7312	1,573	1,067	4 horiz.	620	0,983	2 à 1.	4,737	5,190	0,915	Seaward.
*Terror**	»	»	»	»	»	»	»	»	2 locom.	50	»	Direct.	»	»	»	Maudslay.
Vulcan	1700	67,10	12,08	3,333	48,054	2396,1	1,040	0,040	4 horiz.	360	0,561	Direct.	4,270	5,032	0,838	Rennie.
Wasp	964	54,90	10,32	4,498	36,010	1337	0,850	0,336	2 vert. osc.	100	»	Direct.	»	»	»	Miller.

Note. — Les noms de navires marqués d'un * ont des machines à haute pression. *L'Enterprise* et *l'Investigator* sont des péniches. Le tonnage primitif du *Dauntless* était 1510 tonneaux, et sa longueur 61,05 ; il fut allongé par l'arrière pour permettre à l'hélice de mieux fonctionner.

TABLE II. — EXPÉRIENCES DES NAVIRES A HÉLICE DE LA MARINE DE SA MAJESTÉ BRITANNIQUE.

NAVIRES.							MACHINES.			
							RÉVOLUTIONS par minute.			
NOM	VITESSE par heure.	DATE de l'essai.	LIEUX de l'expérience.	TIRANT D'EAU moyen au moment de l'essai.	SURFACE de la maîtresse-section au moment de l'essai.	DÉPLACEMENT au moment de l'essai.	projetées par le fabricant.	au moment de l'essai.	PRESSION TOTALE sur le piston par l'indicateur.	PUISSANCE en chevaux par l'indicateur.
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
	nœuds			mètres	mèt. carr.	tonneaux			k° p' c. q.	
Ajax	0,456	12 décembr 1846.	Stokes' Bay.	6,503	66,83	2828	45	42	1,020	878,7
Id.	7,147	8 août 1846	Stokes' Bay.	6,874	74,96	3090	»	46	0,857	843,0
Amphion	8,75	8 juillet 1847.	Nore.	3,765	50.72	2025	40	43	1,053	592,2
Archer	7,618	11 octobre 1846.	Tamise.	4,293	34.42	1236	40	36,16	1,109	545
Arrogant	6,295	12 avril 1846.	Stokes' Bay.	6,200	53,67	2414	60	55,5	0,915	823,5
Bee	6,322	25 octobre 1842.	Tamise	1,054	2,62	53,2	»	40	»	
Blenheim	5,816	5 juin 1849.	Stokes' Bay.	6,442	66.34	2700	45	45	0,991	938,4
Brisk	»	»	»	»	»	»	46		»	
Conflict	9,289	7 novemb. 1848.	Nore.	4,122	57,34	1443	73	68	0,993	777,2
Cracker	»	»	»	»	»	»	60		»	
Dauntless	7,636	28 août 1848	Stokes' Bay.	4,980	48.50	2240,3	30	24.5	0,871	610,9
Id. après avoir été allongé	10,293	15 mai 1850	Stokes' Bay.	4,980	48.50	2251,5	»	36	1,061	1218
Id id.	10,016	13 septemb. 1850.	Stokes' Bay.	5.058	50,34	2550	»	51	1,135	1310,0
Id. id.	10,133	12 octobre 1850.	Stokes' Bay.	3,260	32,83	2480	»	30,5	1,127	1327,6
Desperate	9,432	25 mai 1850.	Tamise.	4,345	36,35	1403	40	34,23	0,993	899,4
Id.	10,766	18 juillet 1850.	Nore.	4,321	55,06	1393	»	57,77	1,152	692,3
Id	8,673	18 juillet 1850.	Nore.	4,321	55.96	1393	»	30,16	1.256	388.0
Dwarf	10,387	15 mai 1842.	Tamise.	1,675	4,00	98	35	53,3	1,053	218
Edinburgh	»	»	»	»	»	»	45			
Encounter	10,254	6 novemb. 1848	Stokes' Bay.	5,003	29,46	1192	50	78	0,933	672,7
Id.	9 875	24 novemb. 1848.	Stokes' Bay.	3,812	51,36	1290	»	72	0,970	846,1
Entreprise	estimé à 8 nœuds.	5 mai 1848.	Tamise.							
Erebus	estimé à 5,5 nœuds.	avril 1845.	Tamise.							
Euphrates	»		»			»	53			
Eurotas	»		»			»	55			
Fairy	15,324	5 avril 1848.	Tamise.	1,474	6,88	168	36,5	81,0	0,965	365,6
Id.	11,891	24 février 1847.	Stokes' Bay.	1,770	7,82	160	»	44	1,015	521,4
Forth	»	»	»	»	»	»	53		»	
Greenock	8,58	26 août 1850.	Plymouth.	4,335	38,92	1635	42	32	0,821	716,3
Id.	5,03	30 juillet 1850.	Plymouth.	3,382	30,50	1865	42	33	0,783	707
Highflyer	»	»	»	»	»	»	31,5		»	
Hogue	y' la lock 7,5	20 juillet 1848.	Stokes' Bay.	4,961	76,17	5153	40	50	»	
Id.	7,809	15 décembre 1850	Stokes' Bay.	6,616	74,18	3654	»	47	0,786	792,6
Id.	8,328	18 décembre 1850.	Stokes' Bay.	6,862	74,77	3081	»	53	0,667	707,5
Horatio	8,655	17 juin 1850.	Nore	4,087	36,23	1175	45	41,28	1,129	365,4
Hornet	»	»	»	»	»	»	62		»	
Investigator	estimé à 6.	6 mai.	Tamise.							
Megera	10,241	23 mars 1850.	Tamise.	4.052	35,40	4554	85	74,21	0,939	925,9
Minx	9,137	1er juillet 1848.	Tamise.	1,550	7,02	203	35	63,3	0,862	234,5
Id. nouvelles machines	4,513	24 septemb. 1848.	Tamise.	1,553	7,05	205	»	140	2,738	51,6
Id. machine à disque	5,145	12 décembre 1848.	Tamise.	1,383	7,02	205	»	158		
Miranda	»	»	»	»	»	»	32		»	
Niger	8,461	15 mars 1849.	Nore.	4,524	57,05	1362	75	66,8	1,067	827,8
Id.	10,427	16 mai 1849.	Stokes' Bay.	4,434	58,35	1323	»	74,32	1,097	916,8
Id.	8,708	10 juin 1849.	A la mer.	4,727	39,37	1434	»	67,06	0,821	828,3
Id.	6,906	12 juillet 1850.	Stokes' Bay.	4,561	37,71	1373	»	70	1,004	792,4
Phœnix	7,106	24 août 1848.	Stokes' Bay.	4,295	32,13	1225	23	17	0,056	362,4
Id.	7,366	7 mars 1849.	Stokes' Bay.	4,117	31,49	1190	»	20,5	0,070	471,3
Id.	6,74	6 juillet 1849.	Stokes' Bay.	4,000	36,37	3140	»	24	0,956	436,9
Plumper	6,360	1er septemb. 1848	Tamise.	5,402	20,40	583	92	39,66	1,550	121,7
Id.	7,418	25 novemb. 1848.	Stokes' Bay.	5,329	10,95	530	»	16	1,628	148,1
Id.	6,467	1er décemb. 1848.	Stokes' Bay.	3,723	22 36	652	»	44,5	1,685	146,5
Id.	7,226	6 avril 1849.	Stokes' Bay.	3,392	19,80	550	»	54,5	1,292	156,5
Rattler	10,074	27 juin 1844	Tamise.	6,480	25 44	870	25	26	0,641	498
Id.	9,036	23 janvier 1845.	Tamise.	4,117	30,05	1070	»	26,08	0,926	436,7
Reynard	8,238	14 juillet 1848	Tamise.	2,897	17.06	475	60	54,45	1,422	164,7
Id	7,3	25 mai 1846.	Stokes' Bay.	3,329	20,62	604	»	36	1,285	153,0
Rifleman	6,996	»	Stokes' Bay.	2,620	18.06	464	46	39,75	1,016	318,0
Id.	6,499	15 décembre 1847.	Stokes' Bay.	2,820	18,06	484	»	45	0,605	306,0
Id. nouvelles machines	8,011	20 mai 1848.	Tamise.	2,832	16.25	487	»	44	0,958	183
Id.	7,977	22 juin 1848.	Tamise.	3,115	18,48	565	»	39,5	1,105	180,0
Sans-Pareil	»	»	»			»	53			
Sea-horse	»	»	»			»	35			
Sharpshooter	9,752	5 mars 1847.	Tamise	2,782	17,53	500	40	46,0	1,010	408,1
Id.	9,150	5 juillet 1847.	Stokes' Bay.	2,820	18,21	516	»	41,5	1,021	365,2
Simoom	8,747	8 février 1851.	Stokes' Bay.	5,074	51,55	2700	30	32,5	0,763	316,2
Teazer	6.313	8 juin 1847.	Tamise.	1,600	9,71	205	53	50	0,637	175,6
Id. nouvelles machines	9,865	6 octobre 1846.	Tamise.	1,600	7,71	203	»	81,5	1,007	128,2
Termagant	6,166	25 juin 1849.	Stokes' Bay.	4,650	48,09	2050	25	33	1,054	1243,2
Id.	8,318	15 novemb. 1849	Stokes' Bay.	5,153	34.15	2386	»	20	0,772	738
Id.	9,555	16 novemb 1849	Stokes' Bay.	5,151	55,92	2370	»	51,3	0,780	907,0
Id	6,41	12 décembre 1849.	Stokes' Bay.	3,185	54,13	2386	»	32	0,546	1105,0
Id.	6,81	17 juin 1850.	Stokes' Bay.	5,216	54,56	2403	»	60,5	1,014	1351,1
Terror	estimé à 5,0.									
Vulcan	6,006	24 août 1849.	Tamise.	4,727	45,10	2076	53	66,5	0,897	793
Wasp	»	»	»				60			

TABLE III. — EXPÉRIENCES DES NAVIRES A HÉLICE DE LA MARINE DE SA MAJESTÉ BRITANNIQUE.

NOMS.	PROPULSEUR. Tours par minute. projeté par le fabricant.	PROPULSEUR. Tours par minute. au moment de l'essai.	PROPULSEUR. Vitesse en nœuds.	PROPULSEUR. Recul en nœuds par heure.	PROPULSEUR. Recul pour 100.	RAPPORTS GÉNÉRAUX. de la longueur à la largeur du navire.	RAPPORTS GÉNÉRAUX. du pas de l'hélice à son diamètre.	RAPPORTS GÉNÉRAUX. de la maîtresse-section au disque de l'hélice.	RAPPORTS GÉNÉRAUX. De la puissance nominale à la maîtresse-section.	RAPPORTS GÉNÉRAUX. De la puissance nominale à ⅔ déplacement.	RAPPORTS GÉNÉRAUX. De la puissance par l'indicateur à la maîtresse-section.	RAPPORTS GÉNÉRAUX. De la puissance par l'indicateur à ⅔ déplacement.	COEFFICIENTS D'UTILISATION en admettant que la vitesse varie en raison directe de la racine cubique de la puissance, et en raison inverse de : Aire de la maîtresse-section immergée. $\frac{\text{Vitesse}^3 \times \text{maîtr. sect.}}{\text{Puissance nominale}}$	Aire de la maîtresse-section immergée. $\frac{\text{Vitesse}^3 \times \text{maîtr. sect.}}{\text{Puissance par l'indicateur}}$	Déplacement ⅔. $\frac{\text{Vitesse}^3 \times \text{déplacement}^{\frac{2}{3}}}{\text{Puissance nominale}}$	Déplacement ⅔. $\frac{\text{Vitesse}^3 \times \text{déplacement}^{\frac{2}{3}}}{\text{Puissance par l'indicateur}}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 (**)	14 (**)	15	16
Ajax	48	42	3,285	1,627	22	6,675	1,26	2,73	0,80	2,75	1,17	4,30	41,74	21,37	110,9	61,3
Id. 4m,88×5,16×0,86 (*)	»	48	6,462	1,365	16,74	»	1,12	4 01	0,06	2,12	1,06	3,06	60,05	32,67	172,1	31,5
Amphion	48	48	3,321	2,571	27,53	4,1	1,4	3,06	0,55	1 67	1,08	6,00	52,08	26,36	164	33,1
Archer	144	108,1	6,296	0,175	6,73	»	0,86	5 61	0,51	1,76	0,95	2,04	82,06	47,92	275,4	180,7
Arrogant	60	55,5	6 211	négatif 0,084	négatif 1,02	4,37	0,96	3,07	0,62	1,96	1,07	3,46	65,54	40,39	287,3	106,4
Bee	»	210	6,877	7,055	23,15	5,17	1,21	3,76	0 85	0,07	»	»	83,26		327,0	
Blenheim	48	46	3,483	2,607	21,4	3,73	1,25	3,67	0,61	2,27	1,27	4,73	66,00	14,30	86,6	41,5
Brisk	90	»	»	»	»	5,53										
Conflict	75	68	11,067	1,776	16,06	6,3	1,22	2,31	0,99	3,13	1,93	3,03	74,01	30,86	323,8	431,8
Cracker	120															
Dauntless	70	55,6	8,610	2,182	24,97	5,28	1,22	3,09	1,11	3,38	1,55	4,73	33,47	23,83	117,0	81,5
Id. après avoir été allongé	»	88,26	12,123	1,83	16,00	6,46	»	»	»	3,37	2,38	7,09	64,62	43,48	622,0	183,6
Id.	68,28	70,550	11,467	1,351	11,89	5,46	1,11	3,16	1,07	3,28	2,46	7,02	87,33	37,60	306 2	161,9
Id.	»	69,418	11,812	1,670	14,21	»	1,17	3,85	1,02	6,17	2,38	7,25	85,06	41,54	328,7	142,0
Desperate	67,26	71,00	10,314	0,682	8,35	5,6	1,06	2 06	1,02	3,13	1,73	6,57	70,47	42,73	286,1	198,6
Id.	67,26	82,414	11,501	0,013	5,1	5,6	1,03	2,92	1,03	3,21	2,6	7,13	112,41	50,36	686,8	174,4
Id.	»	65,8	9,009	0,212	2,33	»	»	2,02	0,81	1,6	1,02	3,12	126,12	64,06	435,8	224,2
Dwarf	180	182,3	14,427	3,60	26,36	7,37	1,41	4,74	2,04	4,23	4,91	10,10	53,10	27,16	776,3	816,4
Edinburgh	48															
Encounter	80	76	11,611	1,287	11,15	6,73	1,25	2,61	1,13	6,2	2,11	5,06	66,50	47,80	226,0	106,1
Id.	»	72	10,653	1,273	11,08	»	»	3,01	1,06	3,03	1,63	5,45	72,58	46,44	271,3	151,1
Entreprise Pinnace																
Erebus	»	»	»	»	»	6,64										
Euphrates	70	»	»	»	»	5,32										
Eurotas	55															
Fairy	»	256	20,360	7,035	34,45	6,34	1,5	3,2	1,79	4,2	3,06	11,94	122,05	46,22	502,3	107,6
Id. 1m,08×2,44×0,405	»	220	17,36	5,100	61,5	»	1,29	2,74	1,56	3,78	3,91	8,53	100,13	30,88	416,2	176,5
Forth	65															
Greenock	66,7	75,3	9,044	0,053	0,34	5,60	0,93	2,72	1,34	3,70	4,71	4,3	60,03	47,73	234,4	136,6
Id.	66,7	77,55	9,944	0,614	6,10	5,60	0,93	2,77	1,32	3,72	4,06	4 07	62,73	50,04	230,0	101,4
Highflyer	55	»	»	»	»	5,76										
Hogue	45	66	9 064	2,304	23,96	6,5	1,25	4,08	0,55	2,09	»	»	71,40		201,7	
Id.	45	47	9,709	4,09	36,31	3,8	1,31	3,93	0,56	2,14	5,99	3,77	75,06	44,34	222,7	126,5
Id.	»	56	10,257	2,020	10,58	»	1,17	3,97	0,06	2,13	5,99	3,77	66,06	54,24	271,6	166,4
Horatio	67,62	80,37	10,300	1,461	14,06	»	0,95	2,54	0,61	2,24	1,41	4,97	100,06	45,64	300,2	160,6
Hornet	100															
Investigator Pinnace																
Minera	56	74,21	11,712	1,17	12,55	5,47	4,2	2,77	0,01	2,31	2,42	3,0	100,30	41,33	411,2	455,7
Minx	220	254,12	12,536	4,393	27,06	3,93	1,11	5,16	1,22	2,30	2,86	3,70	54,17	24,80	263,5	112,3
Id. nouvelles machines	»	440	6,062	0,347	10,6	»	0,76	4,17	0,12	0,29	0,38	0,01	70,10	22,21	617,0	100,6
Id. machines à disque	»	158	6,743	0,565	0,60	»	0,73	4,17	0,12	0,29	»	»	104,04		471,2	
Miranda	77,72	»	»	»	»	5,73										
Niger	75	66,6	11,537	2,043	47,7	5,6	1,36	3,28	0,90	3,25	2,05	6,74	80,16	38,75	262,0	127
Id.	»	74,33	12,462	2,035	10,33	»	»	6,16	1 02	3,22	2,34	7,63	103,32	14,34	341,6	148,6
Id.	»	67,06	11,645	2,037	22,24	»	»	3,47	0,04	3,12	1,47	4,80	65,46	41,67	211,9	134,9
Id.	75	70	11,897	2,001	17,42	5,6	1,60	6 6	0,08	6,28	1,95	6,41	61,75	46,62	300,5	151,7
Phœnix	92	68	3,496	1,33	15,30	5,13	1,06	3 09	0,75	2,27	1,1	3 34	44,51	66,28	158	107,4
Id. 3m,60×6,55×0,56	»	82	3,897	1,211	13,61	»	0,92	2,09	0,75	2,32	1,30	4,10	56,09	30,27	106,1	108,2
Id. 3m,68×2 85×0,48	»	66	8,153	0,413	4,61	»	0,81	2,07	0,70	2,00	1,40	4,16	78,09	41,82	280,2	140
Plumper	155	99,15	6,046	0,177	3,06	6,09	0,77	3,45	0,27	0,66	0,56	1,71	67,01	44,36	300,6	146,4
Id. 2m,745×1,7×0,30	»	175	6,333	négatif 1,085	négatif 17,16	»	3,02	3,2	3,29	0,31	0,72	2,34	139,06	52,28	400,5	132,5
Id.	»	112	6,168	négatif 0,229	négatif 6,32	»	»	6,73	8,25	0,78	0,32	1 99	103,44	41,10	343,7	137,9
Id. 2m,67×1,38×0,254	»	106,26	3,103	négatif 1,125	négatif 16,43	»	0,62	3,43	6,28	6,03	0,06	2,05	173,14	53,10	420,8	133,7
Rattler	100	101	11,281	1,21	10,73	5,30	1,1	3,40	0 73	2,18	1,06	4,00	126,25	60,07	465,8	217,2
Id.	»	107,92	11,700	2,07	17,57	»	»	4,2	0,8	1,0	1,32	4,15	147,42	62 03	470,6	215,3
Reynard	100	106,06	8 59	0,332	4,00	5,8	0,91	3,06	0,02	0,96	0,29	2,60	150,44	58,09	569,8	207,6
Id. 2m,67×2,14×0,40	»	112	6,009	0,709	3,65	»	0,61	3,55	8,27	0,34	0,60	2,15	133,95	62,26	463,3	181

(*) Les chiffres 4m,88×5m,40×0m,06 représentent le nouveau pas, le diamètre et la nouvelle longueur de l'hélice employée dans un second essai ; et des chiffres semblables sont portés pour les autres hélices dont on s'est servi. A bord de *la Minx*, le diamètre de la seconde hélice était 1m,525, et le pas 1m,012 : sur *le Teazer*, le diamètre de la seconde hélice était 1m,525, le pas 2m,136, et la longueur 0m,254.

(**) Les résultats de ces colonnes sont exprimés relativement au mètre.

TABLE III (*Suite*). — EXPÉRIENCES DES NAVIRES A HÉLICE DE LA MARINE DE SA MAJESTÉ BRITANNIQUE.

NOMS.	PROPULSEUR. Tours par minute.			Recul.		RAPPORTS GÉNÉRAUX			De la puissance nominale		De la puissance [illegible]		COEFFICIENTS D'UTILISATION en admettant que la vitesse varie en raison directe de la racine cubique de la puissance, et en raison inverse de — Aire de la maîtresse-section [illegible]		Déplacement	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Rifleman	144	519,25	10.586	2,49	23,52	3,64	1,12	3,44	1,19	3,28	2,01	5,69	42,60	24,51	163,6	93,9
Id.	»	129	11.457	1,953	17,03	»	1,12	3,44	1,15	3,34	2,12	5,55	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Id. nouvelles machines	»	110	9,765	1,754	17,96	»	1,12	3,18	0,57	1,01	1,01	2,04	53,07	44,31	310,2	189,8
Id. 2m,74×2,74×0,40	»	99,79	9,766	0,780	8	»	1	3,12	0,5	1,40	0,95	2,78	53,54	40,47	316,0	182,0
Sans-Pareil	55	»	»	»	»	3,84										
Seahorse	55															
Sharpshooter	144	140,7	12.49	2,708	21,69	2,63	1,12	3,01	1,04	3,15	2,12	6,43	93,87	40,96	296,9	145,4
Id.	»	124,5	11,052	1,863	16,85	»	1	3,08	1,03	3,1	1,96	5,00	70,74	36,72	[illegible]	[illegible]
Spiteful	56	35,5	»	»	»	»	»	»	0,64	1,81	0,99	2,83	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Teazer	220	200	11.507	5,192	45,12	5,98	1,29	3,21	1,2	2,08	2,11	3,06	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Id. nouvelles machines	»	192,09	13.263	5,579	42,05	»	1,4	4,72	0,48	1,15	1,34	3,08	57,48	27,29	394,3	172,1
Termagant	90	66	11.718	2,552	21,77	5,19	1,16	2,74	1,2	3,01	2,4	7,72	59,72	29,73	200,4	[illegible]
Id.	»	52	9,732	2,731	29,58	»	»	3,09	1,06	3,47	1,20	4,14	24,07	20,33	[illegible]	[illegible]
Id.	»	58	11,185	2,631	23,52	»	»	3,08	1,07	3,48	1,56	5,11	54,51	37,43	179,9	132,6
Id.	»	64	11.363	2,939	25,98	»	»	3,09	1,08	3,47	1,89	6,19	52,11	29,21	177,3	96,1
Id. 4m,78×5,25×0,88	»	72	12.391	2,881	23,25	»	1,11	3,11	1,05	3,45	2,8	7,35	73,71	34,77	249,8	116,2
Terror																
Vulcan	55	66,9	10,823	1,218	11,29	9,31	1,18	3,03	0,75	2,15	1,7	4,87	109,46	48,32	482,0	181,3
Wasp	121	»	»	»	»	5,32										

(**) Les résultats de ces colonnes sont exprimés relativement au mètre.

EXPLICATION DES TABLES DES DIMENSIONS ET DE L'UTILISATION DES NAVIRES A HÉLICE DE SA MAJESTÉ BRITANNIQUE.

Les tables précédentes montrent les dimensions principales et l'utilisation réelle de tous les navires de la marine de Sa Majesté Britannique. La première donne les dimensions des coques et des machines, ainsi que le tirant d'eau en charge déterminé par le constructeur, l'aire de la maîtresse-section du navire au tirant d'eau en charge; la pression de la vapeur dans les chaudières, ou poids par pouce carré (kilogr. par centimètre carré) placé sur la soupape de sûreté; la puissance nominale des machines et autres dimensions ou quantités du même genre et d'une nature invariable. Ces différents éléments sont si clairement disposés dans la table, qu'en la parcourant, toutes ses parties sont faciles à comprendre, et ne demandent pas d'explications.

Dans la seconde et la troisième table, on a porté l'utilisation des navires de la marine de Sa Majesté Britannique, telle qu'on l'a déterminée par plusieurs expériences. On observera ici que les puissances développées et les vitesses produites ne sont pas les mêmes dans tous les essais; mais que le résultat est ou meilleur ou plus mauvais, suivant les différentes expériences; ces désaccords montrent que lorsque l'hélice n'a pas été changée, le navire a perdu de ses qualités et de sa vitesse, par l'influence du temps; ou qu'après les essais primitifs on a fait des modifications à la machine ou à la forme d

navire, de façon à obtenir de meilleurs résultats. Ainsi, en 1845, la vitesse de *la Fairy* était 13,324 nœuds, et, en 1847, 11,894 : la force réelle ou donnée par l'indicateur, était 363,8 chevaux dans un cas, et 321,4 dans l'autre; mais, dans le premier essai, le diamètre de l'hélice était de 1^m,625, et dans le second, 1^m,881, de sorte que la différence entre les résultats peut être en partie attribuée à celle des dimensions des hélices employées. Lors du premier essai du *Termagant*, la marche était de 9,166, et dans le dernier seulement 6,546 ; la puissance effective, c'est-à-dire mesurée par l'indicateur, était 1245,2 chevaux dans le premier cas, et 734 dans le second; mais comme ces essais eurent lieu à quelques mois l'un de l'autre, la perte de marche ne saurait être attribuée à des négligences dans la machine, mais plutôt à l'emploi de mauvais charbon ou à d'autres causes accidentelles. Le premier essai de *l'Ajax* donna 6,458 nœuds, et le second 7,147, la force par l'indicateur étant 878,7 dans le premier cas, et 845,9 dans le second; de sorte que la seconde fois on avait plus de vitesse en dépensant moins de force. Mais, dans la première expérience, le diamètre de l'hélice était 4,88, et le pas 6^m,10, tandis que dans le second, avec le même le diamètre, pas était 5^m,464 : ce qui montre que le plus petit pas était le plus avantageux. Le premier essai du *Dauntless* donna 7,366 nœuds, le second 10,293, la force par l'indicateur étant d'abord 810,9 chevaux, et 1218 ensuite. A bord du *Phénix*, la première vitesse fut 7,100 avec 382,4 chevaux par l'indicateur, et, dans le troisième essai, la vitesse était 8,74 avec 188,9 chevaux de force réelle. Dans d'autres cas, on a observé des résultats semblables, occasionnés quelquefois par un changement de dimensions de l'hélice, et dans d'autres sans que le propulseur ait été altéré; les différences ne s'expliquent plus alors que par la machine, ou par l'emploi de charbon de qualité médiocre, de sorte que la machine ne produit plus la même force. Les résultats les plus remarquables sont ceux du *Rifleman* et du *Teazer*. Dans le premier essai du *Rifleman*, la vitesse obtenue était 8,098 nœuds, avec 348,3 chevaux de force réelle, et dans la troisième, la vitesse fut de 8,011 avec 188 chevaux de force, le diamètre et le pas de l'hélice étant les mêmes dans les deux cas. Le premier essai du *Teazer* donna une vitesse de 6,345 nœuds, avec 175,6 chevaux, et le second 7,685 nœuds avec 128,2 chevaux. Sur ces deux navires, nous voyons plus de vitesse dans les seconds essais que dans les premiers, et cela avec moins de puissance motrice, quoique le tirant d'eau soit resté le même dans les deux cas. On doit attribuer ce résultat à ce que, après avoir terminé les premières expériences, et avant de commencer les secondes, les façons des deux navires ont été rendues plus fines, de sorte que le gain de vitesse est dû à ce que l'arrière a été mieux fait. On remarquera que *le Rifleman* est un navire de 486 tonneaux : il avait dans l'origine environ 200 chevaux de force : *le Teazer* est un navire de 296 tonneaux, qui avait d'abord 100 chevaux de force. Les façons de ces deux navires étaient trop grosses de l'arrière; on les rendit plus fines, et aussitôt après, les machines de 100 chevaux du *Teazer* furent mises à bord du *Rifleman* à la place du premier appareil du bâtiment, et de nouvelles machines de 40 chevaux furent mises à bord du *Teazer*. Les deux navires marchèrent plus vite qu'auparavant : et lorsque les machines du *Teazer* furent transférées à bord du *Rifleman*, elles firent marcher ce navire avec deux nœuds de plus qu'elles ne le faisaient d'abord sur le plus petit des deux navires : montrant ainsi toute l'importance d'une forme convenable de carène.

On remarquera que la puissance nominale et la force réelle des différentes machines, sont données sur les tables, et il est convenable d'expliquer que ces quantités sont totalement différentes, et qu'elles ne sauraient nullement être comparées. La puissance nominale d'une machine exprime en réalité sa dimension, et quand on dit qu'un navire est d'un certain nombre de chevaux, ou quand des machines sont vendues ou achetées pour une certaine somme par force de cheval, c'est toujours de la puissance nominale qu'il s'agit. Dans le catéchisme de la machine à vapeur, il y a des règles et des tables pour trouver la puissance nominale d'une machine, et aussi pour déterminer les dimensions d'un appareil dont la force nominale est donnée. J'ai aussi expliqué les procédés de déterminer la puissance réelle ou effective d'une

machine au moyen de l'indicateur. On voit dans les tables précédentes que le rapport de la puissance nominale à la force réelle est très-variable, et qu'on réalité il n'est pas constant dans la même machine à différentes époques ; tandis que la force nominale de la même machine reste toujours la même, que l'appareil fonctionne bien ou mal ; au contraire, la force effective est l'expression de celle réellement développée au moment dont il s'agit. Dans le cas où une machine a été enlevée d'un navire désigné parmi ceux de la table, et qu'on lui en a substitué une d'une puissance différente, on s'en aperçoit en examinant la colonne de la puissance nominale, et on y trouve la force de chacun des appareils employés. A bord de tous, ou du moins de presque tous les navires mentionnés dans cette table, l'hélice est à deux ailes et à pas uniforme. A bord de *la Fairy*, une hélice à trois ailes a été quelquefois essayée, et dans d'autres cas on s'est servi d'une hélice à deux ailes; des hélices de différentes sortes ont été aussi usitées accidentellement à bord de quelques autres navires ; mais ce sont des cas exceptionnels, et celle à deux ailes d'un pas uniforme, est adoptée dans la marine anglaise. Le recul exprime la différence entre la longueur dont le navire avance réellement, et celle qui aurait été parcourue, si l'hélice avait tourné dans un écrou solide, comme l'eût fait un boulon. Sa quantité varie de 45 pour 100 à 0, et, dans quelques cas, elle est moins que rien, ou, en d'autres mots, le navire avance réellement plus que si son hélice tournait dans un écrou solide. On trouve dans le courant de cet ouvrage une explication de cette action mystérieuse. On entend par le disque d'une hélice, un disque ou cercle du même diamètre que celui dans lequel tournent les extrémités des ailes de l'hélice.

La racine cubique du carré du déplacement du navire, est exprimée par (déplacement) $\frac{2}{3}$ et $\frac{\text{vitesse}^3 \times \text{maîtresse-section}}{\text{puissance nominale}}$[1] exprime la vitesse en nœuds élevée au cube, multipliée par la maîtresse-section immergée en mètres carrés au moment des essais, et divisée par la puissance nominale. Au lieu de cette dernière, la force effective est employée dans quelques-unes des colonnes, et le résultat est de donner des coëfficients d'une plus grande utilité : car ils montrent réellement les qualités de la forme de la carène : les meilleurs navires ont, toutes choses égales, les plus grands coefficients. Ceux ainsi déterminés en multipliant le cube de la vitesse par l'aire de la maîtresse-section immergée; et en divisant par la puissance réelle donnée par l'indicateur, montrent que *le Rattler* et *le Reynard* ont les meilleures formes pour la vitesse de la marine royale anglaise, et que *le Blenheim* et l'*Ajax* ont les plus mauvaises. En parcourant la table III, on voit que le coefficient du *Rattler*, dans la première expérience, est 60,87 ; celui du *Reynard* 58,09 ; de l'*Ajax* 21,37, et du *Blenheim* 14,39. Le premier coefficient du *Teazer* était 11,06; il se trouvait plus mauvais que celui du *Blenheim ;* mais après avoir eu son arrière modifié et rendu plus fin, son coefficient s'est élevé à 27,29, et, quoique ce résultat soit encore médiocre, il est bien préférable au premier. Le premier coefficient du *Rifleman* était 24,51 ; mais, après que les façons de son arrière furent rendues plus fines, il s'éleva à 49 47. Ces indications ne paraissent pas varier beaucoup entre elles, lorsque le coefficient adopté est le cube de la vitesse multiplié par la racine cubique du carré du déplacement, et divisé par la puissance donnée par l'indicateur : on s'en assurera en veyant les chiffres des deux dernières colonnes de la table III, où les résultats de cette nature sont portés[2].

---

[1] Cette formule a été adoptée pour comparer l'utilisation suivant la forme de la carène à celle relativement à la surface de la maîtresse-section. Le déplacement est un solide, sa racine cubique est donc un côté de ce solide, et l'une de ses faces se trouve être par conséquent le carré de cette racine cubique ou $\sqrt[3]{\text{déplacement}^2}$, ce qui est exprimé par déplacement $\frac{2}{3}$.

[2] Les tables des expériences du *Pelican* copiées par l'auteur anglais et portées après celles des utilisations des navires de Sa Majesté Britannique, n'ont pas été placées ici, parce qu'il est possible de les consulter dans le *Memorial du Genie maritime.*

RAPPORT SUR LE NAVIRE DE GUERRE A HÉLICE *LE SAN JACINTO*,

PAR LE MÉCANICIEN EN CHEF B. F. ISHERWOOD, DE LA MARINE DES ÉTATS-UNIS.

(La relation suivante du navire des États-Unis *le San Jacinto* a été rédigée, par M. Isherwood, dans *le Franklin Journal*, et j'ai pris la liberté de l'insérer ici avec quelques changements.)

Le San Jacinto est l'un des quatre navires à vapeur de la marine des États-Unis commencés en 1847, *le Powhattan*, *le Susquehanna*, *le Saranac* et *le San Jacinto*, qui tous ont été terminés excepté le premier. *Le San Jacinto* est seul à hélice et entièrement semblable au *Saranac*, qui de même que les autres est à roues : ces deux derniers ont les mêmes dimensions, et ont été faits aussi semblables que possible, afin d'établir une comparaison exacte entre l'hélice et les roues.

Sur *le San Jacinto* l'axe du propulseur est situé à 20 pouces à babord du centre du navire. L'intention première était de placer l'hélice en arrière du gouvernail, et d'entailler ce dernier de manière à lui permettre de prendre la position voulue sans toucher l'arbre, mais on trouva des défauts à ce projet, et on en adopta un autre.

Dans la nouvelle disposition, le propulseur fut placé derrière l'étambot du navire, et un gouvernail métallique courbé en dessus et situé derrière le propulseur, fut uni à l'étambot par des ferrures fixées au-dessus et au-dessous de l'hélice. Je proposai cette disposition, qui fut adoptée par le bureau des ingénieurs.

Machines. — Les machines consistent en deux cylindres inclinés, avec des pompes à air verticales. Les tés sont placés à la partie supérieure des cylindres, et sont unis à deux jeux de manivelles par des bielles pendantes. Les deux machines sont réunies entre elles par des menottes. Le diamètre des cylindres est de $1^{m},562$ et la course $1^{m},271$. Le volume engendré par les deux pistons à chaque révolution est de $5^{mcub},027$.

Chaudières. — Les chaudières sont en cuivre et leur nombre est de trois, elles contiennent en tout une étendue de 19 mètres carrés de grilles et $476^{mq},81$ de surface de chauffe : la section transversale du premier carneau est $3^{mq},25$, celle du second $3^{mq},25$, et celle du troisième $2^{mq},97$; l'aire de la cheminée $3^{mq},157$, sa hauteur au dessus des grilles $19^{m},72$; la surface de chauffe par pied cube du cylindre $17\frac{2}{3}$ pieds carrés.

Les trois chaudières en cuivre du *Saranac*, qui ont été dessinées par M. W. Copeland, contiennent $476^{mq},23$ de surface de chauffe et $17^{mq},46$ de grille, elles ont les mêmes dimensions que celles du *San Jacinto*.

Propulseur. — On devait d'abord se servir d'une hélice ayant $4^{m},42$ de diamètre, $1^{m},42$ de long, avec un pas initial de $10^{m},67$, s'étendant jusqu'à 12,20 à la partie postérieure. L'aire vue comme un disque présentait une surface de $10^{m},73$: la surface héliçoïdale était $37^{mq},06$, et le nombre des ailes six.

Le propulseur exécuté pour le navire avait $4^{m},422$ de diamètre, $1^{m},22$ de long mesuré suivant l'axe à la circonférence extérieure : $1^{m},22$ de long à un diamètre de $2^{m},287$, et à partir de ce point, il diminuait, jusqu'à n'avoir que $0^{m},762$ sur l'axe ; avec un pas initial de $12^{m},20$, s'étendant jusqu'à $13^{m},725$ à l'extrémité postérieure. L'aire vue comme un disque était $6^{mq},08$: la surface héliçoïdale $10^{mq},466$: le nombre des ailes quatre : l'espace libre laissé dans le massif arrière pour le mouvement de l'hélice était $1^{m},830$. Le recul probable avait été estimé à 22 pour 100.

On changea la position relative du gouvernall et du propulseur dans le but de diminuer la longueur du levier sur lequel agissait l'hélice et le poids que le navire devait porter, parce qu'il n'y avait pas de support extérieur. L'hélice en bronze, telle qu'elle fut placée à bord, pesait 6747^{k}. Le poids du propulseur en bronze de Stevens pour le navire des États-Unis *le Princeton* était 7240^{k}; le diamètre de 4^{m},42, la longueur 4^{m},525 mesuré sur l'axe, le pas 9^{m},894, et le nombre des ailes six.

Manière de fonctionner. — *Le San Jacinto* ayant été mis à un tirant d'eau de 4^{m},75 devant et 4^{m},803 derrière, fut essayé dans la baie de New-York le 1er octobre 1851. En parcourant une distance de 17 ¾ statute miles, c'est-à-dire 15,4 milles marins mesurés sur la carte publiée par le *United States Survey Office*, il fila 9,95 statute miles ou 8,63 milles marins par heure, contre un fort vent du bossoir de babord, qu'un pilote expérimenté estimait devoir retarder le navire d'un mille par heure : la marée était étale au moment du départ, mais contraire à la fin du parcours. Par conséquent, en calme et sur une eau tranquille, la vitesse du navire serait de 11 statute miles ou 9,55 milles marins. Le nombre moyen de révolutions par minute était trente et un.

Avec le pas initial de 40 pieds ou 12^{m},20 :

La vitesse de l'hélice est....	$40 \times 31 \times 60 = 74400$ pieds par heure.	
Celle du navire est.......	$5280 \times 11 = 58080$	
Le recul est donc........................	16320	ou 21,935 pour 100.

Avec le pas final de 45 pieds :

La vitesse de l'hélice est	$45 \times 31 \times 60 = 83700$ pieds par heure.	
Celle du navire est.....	$5280 \times 11 = 58080$	
Le recul est donc.........................	25620	ou 30,609 pour 100.

Le recul moyen est $\frac{21{,}935 + 30{,}609}{2} = 26{,}27$ pour 100.

La pression moyenne effective sur les pistons [1] obtenue par des courbes d'indicateur prise aux deux extrémités des cylindres était 16,29 livres par pouce carré, et par conséquent la puissance développée par les machines était

$$\frac{3067{,}9 \times 16{,}29 \times 4\tfrac{1}{2} \times (31 \times 2) \times 2}{33\,000} = 782{,}45.$$

Un dynamomètre placé à l'extrémité de l'arbra de l'hélice donna une impulsion moyenne de 12 815 libres ¾ : la force dévaloppée pour pousser le navire était donc

$$\frac{12\,815\tfrac{3}{4} \times 968 \text{ (vitesse du navire par minute exprimée en pieds)}}{33\,000} = 375{,}82 \text{ chevaux.}$$

Si nous estimons la force employée à mouvoir les machines, à soulever les pompes à air, ainsi qu'à opérer d'autres fonctions à 2 libres par pouce carré du piston à vapeur [2], estimation qui s'éloigne probablement peu de la vérité, nous aurons 96,06 chevaux employés par le seul travail de la machine. Admettant, d'après les expériences de Morin, que le frottement est 7 ½ pour 100 de la puissance employée, et considérant que cette force est celle des machines

[1] D'après la manière dont M. Isherwood emploie le mot *pression effective*, il paraît admettre celle montrée par l'indicateur dans le cylindre. En Angleterre, cette expression signifie cette même pression effective diminuée de 4 lb. ½ par pouce carré, ou 0^{k},106 par centimètre carré, pour compenser la force employée à vaincre les frottements, et à produire diverses fonctions de l'appareil.

[2] C'est plus qu'il ne faut pour les machines ordinaires.

moins celle absorbée par elles, nous aurons pour la force perdue par le frottement 51,48 chevaux[1].

Réunissant ces éléments, nous avons ce qui suit pour la manière dont est employée la puissance sur *le San Jacinto*.

Recul de l'hélice	26,27	pour 100, ou	205,55	chevaux de force.
Propulsion du navire	48,04	»	375,92	»
Travail des machines	12,28	»	96.06	»
Frottement	6,58	»	51,48	»
Pour le frottement de l'hélice dans l'eau, et la résistance directe de l'arête des ailes environ	6,83	»	53,44	»
	100,00		782,45	

D'après ces chiffres, il paraît que la perte totale de force par l'hélice est de 26,27 pour 100 de la puissance totale de la machine pour le recul, et 6,83 pour 100 occasionnés par le frottement dans l'eau et la résistance des arêtes, ce qui fait en tout 33,1 pour 100.

Il est probable que le recul de l'hélice du *San Jacinto* était trop grand pour obtenir une utilisation économique, et que si sa surface eût été plus grande, on aurait eu un meilleur résultat. Les hélices les mieux proportionnées sous le rapport de l'utilisation, et donnant la plus grande vitesse, ont eu de 28 à 30 pour 100 de recul à bord des petits navires *l'Archimède* et *le Dwarf*. L'hélice donnant le meilleur résultat sur le navire d'expérience *le Napoléon* avait aussi un recul de 25 pour 100; c'est aussi celui de l'hélice qui, sur *le Rattler*, a donné les meilleurs résultats[2].

Dans l'emploi de tout instrument de propulsion, il y a une partie de la force perdue par les défauts : dans la roue à aubes ordinaires, c'est le mouvement rétrograde imprimé, parallèlement au navire, à l'eau repoussée par les aubes, et nommé *recul*, ainsi que la dépression verticale de l'eau appelée *action oblique ;* la perte totale de la roue à aubes est la somme de celles dues aux deux causes que nous venons de citer. Dans l'hélice il y a la même perte par le recul; mais celle par l'action oblique, qui n'existe pas pour ses ailes, est remplacée par une autre, le frottement dans l'eau. La perte totale provenant de l'action de l'hélice est donc la somme du recul et du frottement.

On a trouvé, par des expériences, que le frottement des surfaces sur l'eau est directement comme la surface et comme le carré de la vitesse[3]. Par conséquent, avec les mêmes vitesses le frottement des hélices est comme leur surface; mais il n'en est pas de même du recul, qui suit une proportion beaucoup moindre et que l'expérience seule détermine. Je ne connais, à ce sujet, que les expériences de Bourgois, exécutées par ordre du gouvernement français; et l'une d'elles ressemble à ce qui a été proposé, et plus tard exécuté pour les hélices du *San Jacinto*. Bourgois a essayé une hélice de six ailes, ayant une surface de ⅔ de

---

[1] La perte par le frottement sur ce navire est très-considérable. Si l'aire de chaque cylindre est 3067,8 pouces carrés, celui des deux sera 6135,8, qui, multiplié par 18,29 livres, donne sur les pistons un poids total de 80 852 livres. Ce poids parcourt un espace de 8,38 pieds par révolution, ce qui est équivalent à 18 502 transportés à 45 pieds. Par conséquent, si la machine et l'hélice tournaient sans frottement, la poussée montrée par le dynanomètre serait 18 502; mais l'expérience montre qu'elle n'est que de 12 815 $\frac{1}{2}$. Cette différence est surtout due au frottement; c'est une perte de $\frac{1}{3,26}$ de la force de la machine, et il y a en outre une perte de 205,5 chevaux par le recul, ce qui fait en tout 445,5 chevaux; de sorte qu'il n'en reste que 336,95 employés à la propulsion du navire.

[2] Les tables des expériences du *Rattler*, page 83, montrent que la plus grande vitesse a été obtenue lorsque le recul était à peu près 10 pour 100.

[3] D'après les expériences de Beaufroy, c'est plutôt comme la puissance 1.7 (voir page 11).

l'aire du cercle de l'hélice vu comme un disque, le recul a été 37 pour 100. Alors on a enlevé deux ailes, et placé les quatre autres à des distances égales : dans cet état, la surface n'était que les ⅔ de celle du disque, et le recul fut de 38 $\frac{1}{10}$ pour 100, ou 1 $\frac{1}{10}$ pour 100 plus grand qu'auparavant. Cette expérience a été poussée encore plus loin, en retranchant encore une aile, la surface des trois ne fut plus que $\frac{3}{7}$ du disque : le recul fut alors de 41 $\frac{9}{10}$ pour 100, ou seulement 4 $\frac{9}{10}$ pour 100 plus que le premier ; ce qui montre qu'une réduction de la moitié de la surface n'augmente le recul que de 37 à 41 $\frac{9}{10}$ pour 100, ou 11 ½ pour 100 du dernier recul.

Supposant qu'on ait employé l'hélice proposée d'abord pour *le San Jacinto*, qui avait environ 1 ⅓ la surface projetée, et 3 ½ la surface héliçoïdale de celle actuellement employée ; et supposant que l'accroissement de surface projetée eût diminué le recul dans le rapport cité de 11 ½ pour 100, ou 3 $\frac{2}{100}$ pour 100 du recul réel de l'hélice du *San Jacinto*, on aurait obtenu un recul de (26 $\frac{27}{100}$ — 3 $\frac{02}{100}$), 23 ¼ pour 100. Mais la surface héliçoïdale ayant été augmentée de 3 ½ fois, le frottement l'a été dans la même proportion ; et, comme nous voyons que le frottement avec la surface actuelle est de 6 $\frac{83}{100}$ pour 100, il se serait élevé avec 3 ½ fois la surface jusqu'à 23 $\frac{9}{10}$ pour 100, en supposant que la puissance totale développée n'ait pas changé. Dans ce cas, la force consacrée à la propulsion du navire serait diminuée de (23 $\frac{9}{10}$ — 6 $\frac{83}{100}$) ou 17 $\frac{7}{100}$ pour 100, et augmentée de 3 $\frac{2}{100}$ pour 100 par la diminution du recul : laissant pour diminution réelle (17 $\frac{7}{100}$ + 3 $\frac{2}{100}$) ou 14 $\frac{5}{100}$ pour 100 de la puissance consacrée à la propulsion. Comme la vitesse du navire est en raison des racines cubiques des puissances employées, la même vitesse serait à la nouvelle dans le rapport de $\sqrt[3]{1,000}$ à $\sqrt[3]{0,855}$, ou bien au lieu d'être 11 statute miles, elle serait de 10,44, en supposant toujours que les machines développent la même puissance. La somme des pertes de l'hélice proposée aurait été de (23 $\frac{25}{100}$ + 23 $\frac{9}{10}$) ou 47 $\frac{15}{100}$, au lieu de 33 $\frac{1}{10}$ pour 100, qui est la somme des pertes de l'hélice actuelle. Celle-ci est donc plus économique de 14 $\frac{5}{100}$ pour 100 de la puissance, sans tenir compte des avantages d'un poids moindre et d'une confection moins dispendieuse.

L'hélice proposée par le bureau des ingénieurs de la marine, et employée sur *le San Jacinto*, n'avait pas les proportions qu'on eût adoptées, si ces ingénieurs avaient donné le plan de tout le mécanisme ; mais les machines, les chaudières et l'arrière ayant été terminés avant le commencement de leurs travaux, ils ont adopté la meilleure hélice pour les conditions existantes. La structure de l'arrière rendait impossible l'emploi d'une hélice plus longue, et la surface était limitée dans cette direction : plus de quatre ailes de la même longueur auraient donné une surface plus étendue, mais c'eût été sans utilité, en ce que les ailes auraient été trop voisines les unes des autres pour permettre le libre accès de l'eau ; en outre elles auraient ajouté l'obstacle de nouvelles arêtes coupantes. Le surcroît de surface ne pouvait non plus provenir d'une diminution du pas ; car telles étaient la complication de la machine, la multitude de ses articulations et de ses pièces mobiles, qu'il eût été imprudent de la faire fonctionner trop vite pour donner le sillage convenable au navire avec un pas raccourci : en outre, les chaudières n'auraient pas fourni assez de vapeur pour un plus grand nombre de révolutions.

Coque. — *Le San Jacinto* a 64m,94 de quille, 64m,05 au pont, 65,57 entre perpendiculaires, et 72m,28 de longueur totale. Le bau est de 11m,59, le creux 7m,17, le tirant d'eau en charge 5m,11, l'épaisseur de la quille et de la fausse quille est de 0m,38.

Déplacement en tonneaux de 2240lib :

Au tirant d'eau du lancement de................	10 ¾ pieds	1080 tonn.	
Au tirant d'eau de............................	11 ¾	1456	et 1764lib
» »	13 ¾	1489	1242
» »	15 ¾	1838	1658

Tirant d'eau en charge....	46 ¾	2150	1638[lb]
» »	47 ½	2202	2055
Par pouce au tirant d'eau en charge............		47 ½	
Aire de la maîtresse-section au tirant d'eau de...	44 ½	273,81 pieds carrés.	
» »	43 ½	346,55	
» »	45 ½	420,05	
» »	45 ¾	438,56 [1]	
» »	46 ¾	477,05	
» »	47 ½	496,05	

Le San Jacinto est gréé en goélette : il déploie 16 500 pieds carrés de toile, ou 1534 mètres carrés.

Les données fournies par l'essai du *San Jacinto* peuvent être employées pour déterminer *a priori* le frottement de toute autre hélice de dimensions connues, ainsi que le nombre de tours par minute. Nous avons vu que le frottement de l'hélice du *San Jacinto* s'élève à 53,44 chevaux; si de la puissance totale des machines on déduit ce qui est employé par le recul de l'hélice, le travail de la propulsion du navire, celui des machines et le frottement de la carène, le reste sera le frottement de la surface hélicoïdale ; car la résistance des arêtes coupantes est probablement très-petite, leur forme étant très-aiguë. Les surfaces de l'hélice avaient été très-soigneusement polies. Afin d'utiliser ces éléments pour d'autres hélices, l'expression du frottement doit être réduite à une unité de poids, ayant une vitesse déterminée sur une unité de surface. Le pound avoir du poids ou 0k,453, 10 feet par seconde, ou 3m,050 par seconde, et le pied anglais carré, ou 0mq,093, sont les mesures les plus convenables pour ce que nous nous proposons.

D'après de nombreuses expériences, il paraît que la loi des frottements des corps solides sur les liquides est différente de celle qui sert de règle à la quantité de frottement des solides l'un sur l'autre, et, au lieu d'être proportionnelle à la pression et à la vitesse, elle l'est à la pression, à la surface et au carré de la vitesse. Admettant que ces hypothèses soient correctes, nous déterminerons le frottement d'un pied carré de la surface héliçoïdale, ayant une vitesse de 10 pieds par seconde d'après les résultats obtenus sur *le San Jacinto* : observant que, comme une surface héliçoïdale, depuis l'axe jusqu'à la circonférence, devient plus grande à mesure qu'elle est plus voisine du bord, et qu'elle parcourt sa longueur à chaque tour, il en résulte que chacune a une vitesse différente pour le même nombre de révolutions. Considérant une hélice pour représenter une largeur infiniment petite de la surface héliçoïdale, il s'ensuit que ces surfaces normales aux hélices auront des frottements différents, et en proportion du carré de leur vitesse et de leur étendue. Il est donc nécessaire de déterminer les aires et les vitesses de ces surfaces. Ce problème peut être résolu géométriquement, d'une manière approximative, avec peu de peine et avec une exactitude suffisante pour la pratique. Par cette méthode, la surface de l'hélice, projetée sur un plan à angle droit de l'axe, forme un disque et est divisé par des cercles concentriques, en un certain nombre d'anneaux ou d'*éléments*, et plus ces derniers seront nombreux, plus le résultat obtenu sera exact. La ligne du centre de chaque élément est prise pour la longueur de cet élément, et déterminée de la manière suivante :

Le développement d'une hélice sur un plan est l'hypoténuse d'un triangle rectangle, dont la base est la circonférence normale à la distance de l'hélice à l'axe, considérée comme un

[1] Prenant 438 pieds carrés pour l'aire de la maîtresse-section immergée, la résistance par pied carré serait de 29,2 livres, ce qui montre que les formes de ce navire ne sont pas très-bonnes.

rayon, et dont la hauteur est le pas. Nous avons donc deux côtés d'un triangle rectangle pour trouver l'hypoténuse et cette ligne, où l'hélice multipliée par la largeur de l'élément, donne sa surface.

Nous avons maintenant toutes les quantités nécessaires au calcul, excepté le nombre de livres avoir du poids par pied carré de la surface, et à la vitesse de 10 pieds par seconde. Nous l'obtenons en représentant ce poids inconnu par x, et opérant le calcul pour chaque élément : alors faisant la somme de la colonne ainsi obtenue, et divisant par 33 000, nous obtiendrons l'expression de x en chevaux-vapeur. Exécutant ces opérations pour l'hélice du *San Jacinto*, et on se référant aux données trouvées pour ce navire, quand le frottement de la surface hélicoïdale est de 53,44 chevaux, nous trouvons, en divisant 53,44 par la puissance en chevaux multipliée par x, comme on l'a obtenu plus haut, la quantité inconnue en livres avoir du poids; observant que la surface hélicoïdale peut être prise pour les deux côtés de l'hélice. De la sorte, le frottement de 1 pied carré de la surface hélicoïdale, se mouvant avec une vitesse de 10 pieds par seconde, est déterminé par les éléments du *San Jacinto*, de 0,6195 livres avoir du poids. L'examen de la table suivante montre clairement la manière d'opérer.

Pas.	Rayons des éléments.	Circonférences normales aux rayons des éléments.	Longueur de l'hélice dans la direction de l'axe aux rayons.	Fractions de pas employés.	Longueur des éléments pour une révolution des filets de l'hélice.	Longueur des éléments employés.	Largeur des éléments.	Surface hélicoïdale des éléments.	Vitesses des éléments par seconde.	Vitesses des éléments par minute.	Frottement. Deux côtés de l'hélice.
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
		$2B \times 3,1416$		$\frac{D \times 4}{A}$	$\sqrt{(A^2+C^2)}$	$F \times E$		$G \times H$	$\frac{K}{60}$	$F \times 81$	$\frac{J^3}{10^3} \times K \times 21 \times 0,6195$ lbs.
Pieds.	Pieds.	Pieds.	Pieds.		Pieds.	Pieds.	Pieds.	Pieds carrés.	Pieds.	Pieds.	
43,5	1,27	7,980	2,500	0,233	43,248	10,162	0,208	2,114	22,342	1340,53	47526,584
»	1,50	8,425	2,542	0,238	43,532	10,404	0,250	2,601	22,491	1349,46	21998,847
»	1,75	10,995	2,360	0,251	43,898	11,018	»	2,754	22,880	1360,64	23885,432
»	2,00	12,586	2,433	0,267	44,517	11,833	»	2,958	22,367	1373,63	26397,320
»	2,25	14,137	3,058	0,278	44,700	12,452	»	3,113	23,441	1388,49	28678,385
»	2,50	15,708	3,125	0,294	45,310	13,321	»	3,333	23,410	1404,01	31788,155
»	2,75	17,278	3,250	0,300	45,861	14,640	»	3,510	23,763	1422,31	34757,853
»	3,00	18,848	3,418	0,321	46,492	14,924	»	3,731	24,021	1441,25	38443,672
»	3,25	20,420	3,583	0,337	47,150	[illegible]	»	3,972	24,261	1461,65	43628,101
»	3,50	21,991	3,756	0,352	47,845	16,841	»	4,210	24,720	1485,20	47276,630
»	3,75	23,562	3,833	0,361	48,564	17,541	»	4,383	25,107	1506,41	51602,739
»	4,00	25,132	4,000	0,378	48,374	18,585	»	4,644	25,516	1530,58	57274,720
»	4,25	26,703	»	»	50,192	16,872	»	4,716	25,932	1559,95	60020,623
»	4,50	28,274	»	»	51,045	18,192	»	4,796	26,373	1582,40	65427,253
»	4,75	29,845	»	»	51,932	18,526	»	4,861	26,831	1609,80	70069,058
»	5,00	31,416	»	»	52,850	18,672	»	4,968	27,306	1638,38	75192,741
»	5,25	32,986	»	»	53,800	20,220	»	5,057	27,767	1667,50	80742,842
»	5,50	34,557	»	»	54,766	20,593	»	5,148	28,297	1697,81	86712,696
»	5,75	36,128	»	»	55,817	20,687	»	5,247	28,836	1730,36	93549,516
»	6,00	37,699	»	»	56,618	21,362	»	5,341	29,364	1761,26	100427,393
»	6,25	39,270	»	»	57,805	21,757	»	5,439	29,397	1763,82	108046,968
»	6,50	40,846	»	»	58,946	22,184	»	5,544	30,465	1827,32	116356,658
»	6,75	42,411	»	»	60,016	22,575	»	5,644	31,021	1861,24	125248,404
»	7,00	43,982	»	»	61,160	22,990	»	5,746	31,599	1895,96	134646,379
»	7,25	45,550	»	»	62,296	23,424	»	5,658	32,187	1931,24	145167,621
»	7,431	46,690	»	»	63,130	23,957	0,125	2,967	32,830	1967,23	76580,040
					Surface hélicoïdale de l'hélice			112,677	» »	» »	1763947,285

$$\frac{1763947,285}{33000} = 53,45. \quad \frac{J^3}{10^3} \times K \times 21 \times x = 2847372,54\,x \quad \text{et} \quad \frac{2847372,54\,x}{33000} = 86,284\,x;$$

et comme $86,284\,x = 53.44$; $x = 0,6195$.

NAVIRES A HÉLICE ET A ROUES SUR L'OCÉAN ATLANTIQUE.

On a émis à Liverpool des opinions très-différentes au sujet des qualités des navires à hélice et de ceux à roues à aubes employés sur l'Océan Atlantique : cette question renferme, dans toute son étendue, la comparaison des deux genres de bâtiments pour la navigation sur l'Océan. Dans une rencontre, *le Frankfort*, navire à hélice, se dirigeant vers la Méditerranée, dépassa *l'America*, faisant route pour New-York, quoique ce dernier soit un navire de 1880 tonneaux, d'après les constructeurs, et de 750 chevaux de force; tandis que *le Frankfort* n'est que de 657 tonneaux et 400 chevaux de force. Dans d'autres occasions, des navires à hélice faisant le service entre Liverpool et New-York, ont opéré des passages aussi rapides, ou peu s'en faut, que quelques-uns des vapeurs à roues de la même ligne; quoique ces derniers aient plus de puissance motrice. D'après cela, il en a été conclu par plusieurs personnes que l'hélice valait mieux que les roues pour les voyages sur l'Océan. Cette conclusion a été réfutée d'un autre côté, et les partisans de chacun des propulseurs ont déployé beaucoup de zèle pour soutenir leurs préférences. Après de fréquentes discussions dans les journaux de Liverpool, MM. Richardson, représentants des navires à hélice *City of Glascow* et *City of Manchester*, considérant que ces navires avaient été dénigrés par quelques remarques récentes, publièrent dans le *Liverpool-Albion* la table du loch de *la Cité de Manchester*, accompagnée de quelques remarques, pour montrer la supériorité de ce navire sur *le Niagara*, qui faisait les traversées de l'Atlantique en même temps. Ce rapport fut aussitôt suivi d'un autre de MM. Mc. Iver, pour les navires à roues, dans lequel ils admettaient d'abord, que, dans des circonstances spéciales et exceptionnelles, un navire à hélice d'une petite puissance est capable de dépasser un navire à roues, puisque des bâtiments à voiles l'ont fait sans l'aide de la force de la vapeur; mais ils ajoutaient, qu'il était impossible de déduire, d'un cas isolé, aucune conclusion raisonnable des qualités comparatives des deux propulseurs. Ils donnaient donc un tableau comparatif des vitesses réalisées par les navires à roues et par ceux à hélice, pendant de nombreux voyages. Voici les données de chacun des deux propulseurs :

LE NAVIRE A HÉLICE *LA CITY OF MANCHESTER*.

(Extrait du *Liverpool Albion*, lundi 19 avril.)

Le navire de la compagnie de Liverpool et de Philadelphie, *la Cité de Manchester*, capitaine Robert Leitch, est arrivé dans la Mersey vendredi 16, avec 77 passagers et une forte cargaison. Ce voyage a présenté une occasion de comparer le navire à hélice avec celui à roues, tant pour aller dans l'Ouest que pour en revenir. *La Cité de Manchester* quitta Liverpool exactement douze heures avant le navire de la poste royale, la *Niagara*, et remit ses dépêches à Philadelphie le même jour que l'autre, les ayant entièrement transportées par mer, tandis que celles du *Niagara* étaient venues de Boston par le chemin de fer. En revenant en Angleterre, *la Cité de Manchester* prit les lettres et les journaux de Philadelphie trois jours plus tard que *le Niagara*, et entra dans la Mersey exactement trois jours après. Les passages dans les deux directions sont

à peu près avec la même vitesse ; s'il y a une différence, elle est en faveur de *la Cité de Manchester*. Celle-ci avait 1100 tonneaux de cargaison en poids et encombrement lors de son arrivée à Philadelphie, et 1200 tonneaux en poids en revenant à Liverpool. *Le Niagara* revenait sur lest. D'après les documents du gouvernement, *le Niagara* est un navire à roues, de 1850 tonneaux d'après la mesure des constructeurs, 1008 de tonnage légal, et 750 chevaux de force. *La Cité de Manchester* est un navire à hélice de 2125 tonneaux d'après les constructeurs, 1309 de tonnage légal et 350 chevaux de force. Voici un extrait de la table de Loch de *la Cité de Manchester*.

1er avril. — Vent de S., à 9h 15m du matin sorti du bassin, à 1h 3m passé Newcastle, 8h débarqué le pilote, 9h 20m le feu du cap Henlopen, 3 milles à l'ouest.

2. — Vent de S. Lat. 39° 4' N., obs.; long. 72° 20' O du méridien de Greenwich. Brise légère, beau temps. Fait 130 milles depuis le cap Henlopen.

3. — Vent S. O. au N. O. Lat. 46° 6' N.; long. 67° O. Temps à grains. Fait 264 milles.

4. — Vent N. N. O; Lat., 39° 47' N.; long. 61° 16' O. Grand frais avec forts grains et grosse mer. Fait 260 milles.

5. — Vent de N. O. Lat. 39° 26' N.; long. 56° 9' O. Grand frais, grosse mer. Fait 240 milles.

6. — Vent de N. Lat. 40° 13' N., obs.; long. 51° 30' O., obs. Brise fraîche, grains. Fait 220 milles.

7. — Vent de N. E. au S. E. Lat. 41° 36' N. obs.; long. 48° 4' O., obs. Brise fraîche, grains, mer debout. Fait 176 milles.

8. — Vent de S. E. au N. O. Lat. 43° 13' N.; long. 43° 3' O. Grand frais de vent, pluie, grosse mer. Fait 234 milles.

9. — Vent N. N. O. Lat. 44° 50' N. E.; long. 37° 30' O. Vent fort, mauvais temps. Fait 260 milles.

10. — Vent N. N. O. Lat. 46° 18' N.; long. 32° 16' O. Grands frais, mauvais temps. Fait 236 milles.

11. — Vent de N. Lat. 46° 44' N., obs.; long. 27° 41', obs. Au commencement brise fraîche, à la fin légère et variable. A 6h 40m s., parlé au navire anglais *Lady of the West*, d'Alexandrie à Liverpool. Fait 196 milles.

12. — Vent de S. Lat. 48° 38', obs.; long. 22° 57', obs. Brise fraîche, temps nuageux. Fait 222 milles.

13. — Vent de S. Lat. 50° 47', obs.; long. 16° 57', obs. Brise fraîche, temps nuageux. Fait 267 milles.

14. — Vent de S. S. E. Lat. 30° 60', obs; long. 11° 59' O., obs. Brise fraîche, mer debout. Fait 190 milles.

15. — Vent S. S. E. Lat. 61° 41' N., obs.; long. 7° 56' O., obs. Brise fraîche, grosse mer. A 2h m. le feu du cap Clear. N. E. ½ E 12 milles.

16. — Vent de S. et d'E. A 10h m., passé Holyhead; à 2h 30m s., Sherries; à 3h 30m, pris le pilote, à 9h 15m passé le Rock.

NAVIRES A ROUES COMPARÉS A CEUX A HÉLICE.

(Extrait du *Mercure de Liverpool*, mardi 20 avril.)

De même qu'un navire à voiles égale quelquefois la vitesse des meilleurs vapeurs de l'Océan, il est aussi possible qu'un bâtiment à hélice trouve des circonstances où il a le même avantage. Mais d'autres occasions de comparer les deux propulseurs se sont présentées avant le voyage dont il est question, tant pour aller dans l'Ouest que dans l'Est, ainsi que le montrent les résultats suivants obtenus par les paquebots à roues de la compagnie Cunard et par ceux à hélice de la compagnie Liverpool et Philadelphie.

TRAVERSÉES EN ALLANT A L'OUEST.

NOMS DES NAVIRES.	POUR	DATES DU DÉPART.	DATES DE L'ARRIVÉE.	DURÉE DE LA TRAVERSÉE. Jours.	heures.
City of Glasgow[1]	Philadelphie	1850. 11 decembre.	1851. 2 janvier.	22	0
Africa	New-York	7 décembre.	1850. 22 décembre.	14	17
City of Glasgow	Philadelphio	1851. 12 février.	1851. 3 mars.	18	18
Europa	Boston	15 février.	28 février.	13	0
City of Glasgow	Philadelphie	16 avril.	4 mai.	18	0
Asia	New-York	12 avril.	23 avril.	10	22
City of Glasgow	Philadelphie	18 juin.	7 juillet.	19	0
Africa	New-York	21 juin.	2 juillet.	11	3
City of Manchester	Philadelphie	26 juillet.	13 août.	18	6
Europa	Boston	26 juillet.	5 août.	10	12
City of Glasgow	Philadelphie	13 août	30 août.	17	6
Asia	New-York	16 août.	28 août.	12	9
City of Manchester	Philadelphie	17 séptembre.	3 octobre.	16	6
Africa	New-York	13 septembre.	24 septembre.	10	23
City of Glasgow	Philadelphie	8 octobre.	28 octobre.	20	3
Niagara	New-York	11 octobre.	25 octobre.	14	0
City of Manchester	Philadelphie	5 novembre.	20 novembre.	15	6
Africa	New-York	8 novembre.	19 novembre.	11	8
City of Pittsburgh[1]	Philadelphie	29 novembre.	1852. 11 janvier.	43	0
Niagara	Boston	29 novembre.	1851. 13 décembre.	13	16
City of Glasgow	Philadelphie	10 décembre.	1 janvier.	22	0
Europa	New-York	6 décembre.	23 décembre.	16	23
City of Manchester	Philadelphie	31 décembre.	1852. 9 février.	40	0
Asia	New-York	1852. 3 janvier.	16 janvier.	13	12
City of Glasgow	Philadelphie	4 février.	24 février.	20	10
Canada	New-York	31 janvier.	18 février.	17	21
City of Manchester	Philadelphie	5 mars.	20 mars	15	1
Asia	New-York	28 février.	12 mars.	12	23

1. Les noms des navires à roues sont en caractères ordinaires, ceux des bâtiments à hélice sont en italiques

TRAVERSÉES EN VENANT DE L'OUEST.

NOMS DES NAVIRES.	D'OU	DATES DU DÉPART.	DATES DE L'ARRIVÉE.	DURÉE DE LA TRAVERSÉE.	
		1851.	1851.	Jours.	heures.
City of Glasgow..........	Philadolphie....	15 janvier.	30 janvier.	13	15
Niagara................	Boston.........	15 janvier.	27 janvier.	12	0
City of Glasgow..........	Philadelphie....	15 mars.	31 mars.	15	12
Europa.................	Boston..........	12 mars.	23 mars.	11	0
City of Glasgow..........	Philadolphie....	15 mai.	31 mai.	15	18
Niagara................	Boston..........	14 mai.	25 mai.	10	12
City of Glasgow..........	Philadelphie....	17 juillet.	1 août.	14	18
Africa.................	New-York.......	16 juillet.	26 juillet.	10	85
City of Manchester.......	Philadelphie....	28 août.	14 septembre.	17	6
Africa.................	New-York.......	27 août.	6 septembre.	10	6
City of Glasgow..........	Philadelphie	11 septembre.	1 octobre.	20	0
Asia...................	New-York.......	10 septembre.	21 septembre.	10	19
City of Manchester.........	Philadelphie	9 octobre.	23 octobra.	14	3
Africa.................	New-York.......	8 octobre.	19 octobre.	10	9
City of Pittsburgh........	Philadelphie	27 octobre.	16 novombre.	19	12
America................	Boston..........	29 octobre.	9 novembre.	11	5
City of Glasgow..........	Philadelphie	6 novembre.	23 novembre.	17	1
Niagara................	New-York.......	5 novembro.	18 novembre.	12	12
City of Manchester........	Philadelphie....	4 décembre.	20 décembre.	15	5
Africa.................	New-York.......	3 décembre.	14 décembre.	11	3
		1852.	1852.		
City of Glasgow..........	Philadelphio	8 janvier.	23 janvier.	15	0
Canada.................	Boston.........	7 janvier.	18 janvier.	10	16
City of Manchester........	Philadelphie....	24 février.	12 mars.	17	0
Canada.................	New-York.......	25 fevrier.	8 mars.	11	17
City of Glasgow..........	Philadelphie....	4 mars.	23 mars.	18	18
Cambria................	Boston.........	3 mars.	16 mars.	12	17
City of Manchester.......	Philadelphie....	1 avril.	16 avril.	15	5
Niagara................	Boston.........	31 mars.	13 avril.	13	4

MM. Richardson objectent, aux résultats présentés par MM. Mc. Iver, que bien qu'ils expriment exactement la vitesse des navires d'un port à l'autre, ils n'en produisent pas moins une grande erreur sur la comparaison des marches des différents navires, parce que MM. Mc. Iver comptent, comme faisant partie de la traversée toutes les pertes de temps causées par les retards que les navires à hélice éprouvent souvent en se rendant à Philadelphie, but de leur voyage : cette ville est située sur la Delaware, à 110 milles de la mer, et son approche est rendue difficile par les brumes et les glaces. Il est arrivé au navire à hélice d'être pris dans les glaces pendant vingt jours, et ce retard ne peut être compté dans la traversée. Par conséquent, ils proposent de prendre pour terme du voyage les caps de la Delaware au lieu de Philadelphie, afin de ne pas laisser les difficultés du trajet de la rivière influer sur la durée de la traversée totale, puisque la navigation de New-York n'a pas ces obstacles. Ils admettent que la distance de Liverpool à New-York est de 3020 milles marins, celle de Liverpool aux caps de la Delaware d'environ 3140, et celle à Philadelphie 3250 milles. D'après ce mode d'estimation, ils établissent ainsi la durée des voyages des navires à hélice.

	Part de Liverpool.			Arrive aux caps de la Delaware.			Durée du voyage.		
		heures	minut.		heures	minut.	jours	heures	minut.
Cité de Manchester.....	8 nov. 1851.	11	15 M.	19 nov. 1851.	midi.		14	5	45
Cité de Glasgow.......	19 déc. »	5	45 S.	30 déc »	11	30 S.	20	15	45
Cité de Manchester.....	31 déc. »	2	15 S.	20 janv. 1852.	15	» S.	20	12	45
Cité de Glasgow.......	4 févr. 1852.	10	50 M.	24 févr. »	9	30 M.	19	23	40
Cité de Manchester....	5 mars »	minuit.		20 mars »	8	40 M	14	3	40
				Moyenne.			17	21	55

Les voyages des navires à roues à aubes, à peu près à la même époque, sont portés sur le tableau suivant, excepté cependant celui de *l'Europa*, le 6 décembre 1851, et celui du *Niagara*, le 17 janvier 1852, parce que ces navires relâchèrent alors à Halifax pour faire du charbon.

	Part de Liverpool.		Arrive à New-York		Durée du voyage.		
					jours	heures	minut.
Africa	8 novembre	1851.	15 novembre	1851.	11	5	»
America	22 novembre	»	5 décembre	»	18	18	35
Africa	20 décembre	»	2 janvier	1852.	13	»	»
Asia.	5 janvier	1852.	19 janvier	»	13	19	»
Canada..................	31 janvier	»	15 février	»	17	22	45
Africa..................	14 février	»	28 février	»	14	1	»
Asia	28 février	»	12 mars	»	15	»	35
			Moyenne.		13	18	41

Une durée moyenne de 13 jours 18 heures 41 minutes pour parcourir 3020 milles marins, donne 219,17 milles par jour, ou 9,132 nœuds par heure : et une traversée moyenne de 17 jours 21 heures 55 minutes, d'une distance de 3140 milles, fait 175,321 milles par jour, ou 7,305 nœuds par heure. D'après cette comparaison, le navire à roues fait un peu moins de deux nœuds de plus que celui à hélice, et c'est à peu près le résultat qu'on devait avoir à cause des dimensions et des puissances motrices de chaque genre de navire. Voici leur tonnage et la force de leurs machines :

	Tonnage légal.	Tonnage des constructeurs.	Puissance nominale.
Africa	1216	2200	800
Asia.	1214	2200	800
America	984	1850	750
Europa.................	1010	1850	750
Niagara.................	1008	1850	750
Canada	1004	1850	750
Cité de Glasgow.........	1087	1609	340
Cité de Manchester.......	1309	2125	380

D'après cette énumération des dimensions, il paraît que celles des navires à hélice sont à peu près les mêmes que celles des bâtiments à roues, et que les premiers ont environ la moitié de la puissance motrice des seconds. La proportion moyenne de la force au tonnage est de 1 à 5,4 pour les hélices, et 1 à 2,56 pour les roues. Adoptant donc la supposition que les navires des deux sortes sont semblables, mais que ceux à hélice n'ont que la moitié de la puissance motrice des autres, et qu'ils font 7,3 nœuds en allant de l'autre côté de l'Atlan-

tique, tandis que les roues font 9,132 nœuds, et que dans les deux cas, les machines fonctionnent également bien, il n'y a certainement rien dans le résultat obtenu pour conclure que l'hélice est un moyen de propulsion supérieur aux roues, et pour croire que ce qui a été exécuté par les navires à hélice ne l'eût pas été également par des bâtiments à roues de la même puissance. La force nécessaire à l'impulsion des navires, soit avec les roues, soit avec les hélices, varie à peu près comme le cube des vitesses, ou, en d'autres mots, la marche change comme la racine cubique de la puissance. Par conséquent, si des navires tels que ceux de la compagnie Cunard, ayant une vitesse de 9,132, en se rendant en Amérique, étaient poussés par la moitié de la force, c'est-à-dire si leurs machines avaient la même force que celle des hélices, la vitesse serait diminuée dans le rapport de la racine cubique de 2 à celle de 1, ou comme 1,256 à 1. En d'autres mots, la vitesse, au lieu d'être 9,132 nœuds, deviendrait 7,27; ce qui est à peu près la marche réelle des navires à hélice. Au contraire, si la force existant à bord des navires à hélice et capable de donner 7,3 nœuds, était doublée, la vitesse augmenterait dans la proportion de la racine cubique de 2 à celle de 1, ou comme 1,256 à 1. En d'autres mots, les navires à hélice, ayant la même force que ceux à roues, auraient 9,198 nœuds au lieu de 9,132. Il est donc évident que l'expérience des voyages sur l'Atlantique montre seulement que l'hélice et la roue à aubes fixes ordinaires ont les mêmes qualités comme propulseurs, conclusion à laquelle avaient amené d'autres expériences, dans lesquelles les dimensions des navires et des machines étaient les mêmes.

Mais l'hélice a certains avantages spéciaux, et aussi certains défauts, qu'il est utile d'analyser : en premier lieu, quand un vapeur part pour un long voyage, il est profondément immergé à cause de la quantité considérable de charbon qu'il lui faut emporter, et alors l'hélice fonctionne d'une manière beaucoup plus avantageuse que les roues. Cependant, plus les navires sont grands, moins ces changements d'immersion sont sensibles, et les roues ayant plus de diamètre ont l'action de leurs aubes moins modifiée par les différences de tirant d'eau. L'hélice est beaucoup mieux assortie à l'usage des voiles que les roues; mais, sur les grands navires que le vent fait moins incliner, la différence entre les deux sortes de propulseurs se trouve diminuée. Les roues à aubes résistent aux mouvements de roulis, et les navires à hélice de la même forme que ceux à roues, rouleront plus que ces derniers; mais cet inconvénient serait écarté en donnant des formes convenables aux fonds des navires. Le plus grand défaut des navires à hélice est la vitesse de rotation de leur propulseur, lorsqu'ils luttent contre le vent : vitesse qui ne change pas, et ne paraît pas se ressentir des obstacles; tandis que sur les navires à roues, le nombre de tours de la machine diminue à peu près dans le même rapport que le sillage. Il résulte de cette particularité que l'hélice fait brûler presque autant de charbon par heure, avec un vent contraire violent, que pendant un calme; tandis qu'avec les roues, il y a moins de vapeur et de charbon consommés avec le vent debout, à cause du ralentissement des machines. Il faut donc que les bâtiments à hélice prennent une plus grande réserve de charbon que ceux à roues, puisqu'on est toujours exposé à un fort vent debout, et il en résulte pour les premiers une infériorité marquée, toutes les fois qu'il y a des vents contraires et violents à redouter. Je ne crois pas impossible de corriger ce défaut des hélices : au contraire, je pense qu'on y parviendra, et qu'alors les navires à hélice bien construits seront supérieurs, sous tous les rapports, à ceux à roues. Mais jusqu'à présent, je n'en connais aucun qui ne soit sujet à ce défaut; ce qui donne la supériorité aux roues pour les transports sur l'Océan, toutes les fois qu'il faut marcher vite et emporter une grande quantité de charbon.

COMPARAISON DES RÉSULTATS OBTENUS AVEC L'HÉLICE SUR *LE SAN JACINTO* ET AVEC LES ROUES A AUBES SUR *LE SARANAC*,

PAR B. F. ISHERWOOD, INGÉNIEUR DES ÉTATS-UNIS.

Depuis que j'ai écrit mes remarques sur *le San Jacinto*, j'ai obtenu les tables de loch du navire semblable *le Saranac*, et je puis établir une comparaison entre les deux propulseurs.

Pendant la traversée du *Saranac* de Norfolk à New-York, les 15, 16 et 17 octobre 1850, la vitesse moyenne du 34 heures fut de 9,13 nœuds par le loch, le nombre de tours de roues 14,64, le pression dans les chaudières 13 ½ livres par pouce carré, 0k948 par cent. carré; le vide du condenseur 27 pouces, 0m,684 : le registre ouvert d'un quart et la vapeur interceptée à 3 ½ pieds du commencement de la course; belle mer et brise debout très-faible; tirant d'eau moyen du navire 15 pieds 9 pouces, 4m,80; 2 machines inclinées; les cylindres de 60 pouces de diamètre ou 1m,524, et 9 pieds ou 2m,745 de course.

Roues à aubes ordinaires de 8m,54 de diamètre, 22 aubes, longues de 2m,745 sur 0m,75 de large; immersion des bords inférieurs, 1m,29.

La pression moyenne effectuée dans le cylindre était de 15,5 livres par pouce carré; par conséquent la force développée par la machine était

$$\frac{(2827,44 \times 15,5 \times (9 \times 2) \times 14,64) \times 2}{33000} = 699,92.$$

Admettant le nœud de 6082 ⅔ pieds, comme on le fait dans la marine anglaise, 9,13 seront 10,518 *statute miles*. Prenant les cubes des vitesses pour mesurer les effets produits et la puissance marquée par l'indicateur pour ce que coûte la propulsion, et réduisant proportionnellement, nous avons :

	Puissances.	Effets.
San Jacinto............	1,1294	1,1438
Saranac...............	1,0000	1,0000

$$\text{et} \quad \frac{1,1438}{1,1294} = 1,0130;$$

c'est-à-dire que l'application de la puissance à l'hélice du *San Jacinto* produisait plus d'effet utile qu'avec les roues à aubes du *Saranac*, dans la proportion de 1,0130 à 1,0000 : et que dans ce cas les deux systèmes ont donc à peu près la même action.

Le recul du centre d'action des aubes du *Saranac* était 23,7 pour cent; ce qui est le rapport habituel. La perte par l'action oblique, calculée comme les carrés des sinus des angles d'incidence des aubes dans l'eau, était 13,3 pour 100, la somme des pertes de la roue à aubes était 37 pour 100. Les roues à aubes du *Saranac* donnent un résultat aussi favorable que celles des autres vapeurs allant à la mer, et l'effet semblable obtenu sur *le San Jacinto* montre que son hélice est très-bien proportionnée.

(J'ai seulement à ajouter, au sujet de ces remarques, que, quoique pour un navire de guerre à puissance auxiliaire, l'utilisation du *San Jacinto* puisse être regardée comme satisfaisante, elle est beaucoup au-dessous de celle des navires marchands : cela paraît provenir surtout du manque de finesse de la carène; il n'y a cependant pas de bonnes raisons à alléguer pour prou-

ver qu'un navire de guerre doive plus que tout autre être fait à dessein de manière à éprouver de la difficulté à séparar l'eau. Si la vitesse est admise de 11 milles ou 9 ½ nœuds : alors

$$\frac{9{,}5^3 \times 438{,}5 \text{ (maîtresse-section)}}{700 \text{ (puissance per l'indicateur)}} = 537;$$

ou, en se rapportant, au mètre 49,94; tandis que les coefficients du *Frankfort*, calculés de la même manière, sont 792,3 et ceux dn *Rattler* 676,7. L'infériorité du résultat du *San Jacinto* ne provient pas de la petitesse de son hélice, mais du manque de finesse de ses formes; car il présente 1 pied de surface du disque de l'hélice ponr 2,6 pieds carrés de la maîtresse-section immergée; tandis que pour *le Frankfort*, il y a 1 pied de disque pour 2,7 de la maîtresse-section : ce qui est, à très-peu de chose près, la même proportion. *Le San Jacinto* paraît ressembler au *Dauntless*, son utilisation est un peu meilleure, relativement à la puissance, si cette force varie réellement comme le cube de la vitesse; mais elle suit une plus grande proportion, et *le Dauntless* marchant mieux, l'utilisation des deux navires se trouve égale. Le nombre d'ailes est surtout une question de vitesse de la machine. A bord des navires de guerre, et même de toute sorte de bâtiments, l'hélice doit être plongée autant que possible, et on pareil cas, une hélice à deux ailes sera probablement préférée.

La méthode de M. Isherwood pour estimer le frottement de l'hélice donne des résultats approximatifs qu'il serait utile de confirmer. Mais la manière que j'ai présentée pour mesurer le frottement par la diminution de poussée qu'éprouve l'hélice donnera la perte réellement occasionnée par le frottement; car si nous prenons la pression totale dans le cylindre, et que nous calculions quelle poussée elle produirait, s'il n'y avait pas de frottement, nous saurions en déterminant la poussée réelle, quelle est la diminution d'effet produit par les frottements réunis de la machine et de l'hélice, et nous en déduirions facilement la quantité de force absorbée par le frottement.)

HÉLICES A PAS VARIABLES.

J'ai reçu de M. Hays la lettre suivante, au sujet de mes remarques sur son hélice, portée à la page 13. Comme cela intéresse le public, et que M. Hays paraît désirer que je tienne compte de sa lettre, je la transcris ici avec quelques annotations.

« Monsieur, permettez-moi d'abord de corriger une petite erreur que vous avez commise dans l'orthographe de mon nom; quand vous avez fait la description de deux de mes patentes dans votre *Traité de l'Hélice*, pour lequel je vous souhaite ardemment un plein succès, parce que c'est un moyen de répandre l'emploi d'un mode de propulsion, destiné à produire avant peu dans les affaires maritimes une révolution beaucoup plus grande, qu'on ne l'avait présumé, lorsque M. Smith parvint à la faire connaître. Mon nom s'écrit Hays sans *e*, tandis que vous le mettez Hayes avec un *e* (cette erreur est corrigée dans le texte français). En second lieu, je désire entrer dans quelques explications sur plusieurs des sujets, que je considère comme ayant le plus de valeur dans ma patente, et j'espère que cela vous portera à corriger les opinions, que vous avez émises dans le troisième de vos chapitres.

« Cependant, avant de commencer ces explications, permettez-moi de remarquer, que je ne prétends pas à la plus petite perfection en matière de machines, au delà de ce que comporte le sens commun et un peu de pratique de la vapeur relativement à la navigation. J'ai porté mon attention vers l'hélice en 1843, lorsqu'on me demanda, si je croyais qu'on pût l'employer pour le commerce d'une manière beaucoup plus économique que les roues. Je pensai que

c'était possible, et que le rapport de la puissance au tonnage serait plus petit qu'on ne le supposait; je tirais mes conclusions de ce qu'en naviguant à la voile, un canot orienté trop près du vent ne faisait presque pas de route, même avec peu de mer, et dérivait sous le vent; mais avec l'aide d'une godille à l'arrière, ou d'un aviron nagé seulement par un garçon, le bateau allait de l'avant, suivant la force du vent, avec une vitesse de 3, 4 et 5 nœuds, et cela sans dévier de la ligne de son sillage. Certainement ce n'est pas la force seule d'un petit garçon qui procure cet avantage, quoiqu'il soit la conséquence de cette force; mais c'est la combinaison de la pression latérale des voiles et de l'impulsion donnée par l'aviron [1].

« Par conséquent, en substituant une machine d'une petite puissance agissant sur l'hélice, à l'aviron manié par le jeune garçon, je conclus que le résultat serait semblable. D'après ces idées je construisis un sloop de 200 tonneaux et je lui donnai une machine de 20 chevaux. Après de nombreuses expériences, je trouvai que ma théorie était très-correcte. Naturellement comme une faible puissance ne saurait produire que des effets limités lorsqu'elle agit seule, 5 nœuds était la plus grande vitesse que je pouvais espérer, en calme, avec 20 chevaux. Mais avec les voiles il fallait un plus grand sillage et par conséquent une rotation proportionnellement plus rapide du propulseur; ce qui devait être obtenu soit par un l'accroissement de vitesse des pistons, nuisible à la machine, soit par un autre moyen. Je me décidai pour les engrenages différentiels, ou pour un pas variable de l'hélice, et c'est de là que résulte ma première patente de juillet 1844 [2].

« Pour vous montrer mes résultats pratiques, je vous donnerai les détails d'une expérience à laquelle M. Murray, second ingénieur à Woolwich, assistait par ordre de l'amirauté. Nous quittâmes Londres à quatre heures du matin avec un calme parfait, et nous arrivâmes à Longreach en filant 5 nœuds avec l'engrenage n° 1; l'engrenage et le propulseur faisant 60 tours. La brise se leva, et nous fîmes de la voile, de sorte que la vitesse s'éleva peu à peu à 6 nœuds; la machine marchait trop vite; nous mîmes l'engrenage n° 2 pour 90 tours de propulseur : les machines se bornèrent aussitôt à 54 coups, le propulseur faisait 80 tours, et la vitesse du navire était 7 ½ nœuds.

« La brise fraîchissant toujours et le sillage atteignant 8 nœuds, les machines dépassèrent encore leur marche de régime, et nous mîmes l'engrenage n° 3 pour 120 révolutions de l'hélice : il en résulta que les machines ne firent plus que 50 à 55 révolutions et le propulseur 100 à 102; mais la vitesse du navire s'éleva aussitôt à 10 nœuds, et avant d'arriver à la rade de Margate, où M. Murray débarqua, elle s'était élevée, avec voiles et vapeur, à près de 12 nœuds [3]. Alors nous désembruyâmes le propulseur, et nous trouvâmes que la vitesse du navire était 9 nœuds, de sorte que nous gagnions de ½ à ⅓ avec le secours d'une aussi petite force, quoique la vitesse fut déjà très-grande, sans pour cela augmenter l'usure de la machine ou la consommation de combustible, et nous devions ces avantages à l'engrenage différentiel.

« On expédia un rapport de ces résultats à l'amirauté, en ajoutant que cette disposition

---

1. Cela est très-juste, mais on ne l'a guère apprécié, ou plutôt on ne s'en est pas aperçu.

2. Les engrenages différentiels sont ingénieux, mais fondés sur des idées fausses. La vitesse d'une machine peut être beaucoup augmentée sans produire de mauvais résultats sur sa manière de fonctionner; et, s'il en est ainsi, les différences de vitesse obtenues par les engrenages deviennent inutiles.

3. Il est bien connu qu'une machine, avec une pression donnée sur le piston, exerce une quantité de puissance, qui est strictement proportionnelle au nombre de révolutions. Si une machine marchait plus vite qu'on n'avait eu dessein de le faire, on trouverait certainement que la vapeur ne pourrait plus arriver dans le cylindre avec assez de rapidité pour permettre au piston de recevoir l'impulsion de toute sa pression. Mais cela montre seulement que les orifices ne sont pas assez grands dans les machines destinées à conduire l'hélice, sans engrenage. Il faudrait que tous les passages fussent plus grands, et les portages auraient une étendue inusitée, pour éviter les chances d'échauffement avec de grandes vitesses.

serait très-convenable pour les petits navires, mais qu'elle serait trop encombrante pour les grands. Vers cette époque les machines directes furent adoptées; mais le pas variable de l'hélice produirait à peu près les mêmes effets que l'engrenage différentiel.

« Après quelques expériences préalables sur la manière de fonctionner de l'hélice, surtout dans le cas où elle n'est qu'un auxiliaire de la voile, j'arrivai à la conclusion que le propulseur ne serait jamais d'un emploi utile, si on ne pouvait cesser de s'en servir aussi promptement que d'un grand hunier ou de toute autre partie de la voilure d'un navire : le démontage dans un puits était déjà pratiqué ; mais il y a trop d'objections à faire à cette méthode, pour qu'elle soit compatible avec un bon usage de l'hélice auxiliaire, surtout à bord des navires marchands, pour lesquels le propulseur acquiert une grande importance.

« En premier lieu, si on hisse et descend trop souvent l'hélice, comme cela aura lieu sur un navire à puissance auxilaire, on détériorera promptement les meilleurs ajustages ; surtout, puisque les deux parties sont réunies ou séparées sous l'eau et en dehors de la vue. En outre, de telles manœuvres seraient beaucoup trop fatiguantes pour l'équipage d'un navire marchand. L'ouverture nécessaire pour remonter l'hélice avec ses ailes, faisant un angle convenable, enlèverait le meilleur logement et l'espace vide laissé dans le massif arrière, quand l'hélice est démontée, empêcherait le navire de tenir aussi bien le vent et formerait un remous d'eau qui influerait sur le gouvernail. Il faut y ajouter, que la masse d'eau entraînée dans l'ouverture retarderait beaucoup le sillage. Je pense que la contenance du puits du navire de S. M. Britannique *le Vulcain* excède 20 tonneaux [1].

« Ces objections amenaient à chercher s'il ne vaudrait pas mieux se débarrasser de l'hélice, quand elle n'est pas nécessaire, et c'est ce qui me fit prendre ma seconde patente en 1845, pour changer l'angle des ailes des hélices, ou les mettre dans le plan de la quille, de manière à ne présenter aucun obstacle à la marche du navire à la voile et à être mises à même de fonctionner ou de rester inutiles avec la plus grande facilité. Plus tard, M. John Buchanan fut patenté, en août 1846, pour le même principe : mais il prétendit l'avoir perfectionné, en ce que les positions de ses ailes se prenaient d'elles-mêmes, c'est-à-dire par la seule pression de l'eau, occasionnée par le mouvement du navire. Le même objet fut aussi patenté en mars 1848 par Joseph Mandslay, d'après la supposition qu'en donnant une plus grande surface à l'un des côtés de l'hélice qu'à l'autre, la force de l'eau produite par le sillage, amènerait elle-même l'aile dans l'alignement de la quille, et parce qu'en renversant le propulseur, il reprendrait de nouveau sa position et par conséquent il se manœuvrerait lui-même.

« Ce propulseur fut installé en novembre 1850 à bord du navire *le Bosphorus*, appartenant à la *General Screw steam shipping company*, le premier des paquebots de la ligne *Royal-Mail*, du cap de Bonne-Espérance. Toutefois le patenté douta tellement lui-même que les changements s'opérassent naturellement, qu'il installa un mécanisme au bout d'une tringle, pour être manœuvrée de dessus le pont et tourner les ailes en avant ou en arrière. J'assistai à plusieurs essais de M. Mandslay lui-même, dans le dock des Indes Orientales, pour obtenir cette manœuvre des ailes par elles-mêmes : mais il échoua complétement, de sorte qu'il fallut avoir recours à un mécanisme à pignons, qui remplit parfaitement son but. Je fis le voyage du Cap à bord de ce navire, et pendant le trajet nous cherchâmes en vain à obtenir que les ailes prissent d'elles-mêmes les angles convenables. Je ne doute pas que le système de Buchanan n'éprouve le même résultat [2].

---

1. Il y a d'autres manières de réfuter les objections de M. Hays ; de sorte que l'alternative n'existe pas entièrement entre ces plans et le sien.

2. La disposition de Buchanan a une plus grande force de rotation que celle adoptée par Mandslay, et il est à peu près certain que l'action semblable à celle d'un tourniquet ou d'une gironette peut être rendue suffisante pour tourner les ailes. Cependant toutes les hélices à ailes tournantes sont sujettes à de graves objections,

« Avant les expériences du *Bosphorus*, j'avais été instruit que M. Mandslay enfreignait ma patente, et que, s'appnyant sur le principe d'un changement spontané des ailes, il croysit prouver que c'était un perfectionnement suffisant pour justifier son brevet d'invention. Toutefois, lers de la non-réussite de ce principe, il fut suggéré par nos amis communs, qu'il y avait lieu de faire un arrangement, ot c'est ce qui fut effectué, de sorte que la patente resta en son nom.

« Comme les paquebots du Cap furent les premiers navires mus par hélice, sobventionnés par le gouvernement, l'amirauté mit abord des *Commanders* de la marioe royale au lieu des lieutenants de vaisseau employés d'habitude pour le transport et la surveillance des dépêches, afin qu'ils fussent à même de rendre-compte de la manière *générale* de fonctionner de l'hélice, et en *particulier* du principe de la variation d'angle des ailes. Ces neuvelles hélices furent donc soumises aux épreuves les plus dures, et à cause de leurs bonnes qualités, on en pourvut non-seulement les trois petits paquebots avec lesquels la ligne commença soo service, mais qu'on les mit ensuite sur un navire de 1000 tonneaux sur lequel elle remplit parfaitement son but. Enfin elle fut employée sur d'autres neuveaux bâtiments de 1750 tonneaux et 300 chevaux de force.

« Pour vous montrer combien vous êtes dans l'erreur, en croyant qu'il n'y a presque pas d'avantage à mettre les ailes dans le plen de la quille, ou en admettant que la même vitesse, ou peu s'en faut, est obtenne en désembrayant le propulsenr pour le laisser tourner librement, je voua communiquerai les résultats d'une ou deux des nombreuses expériences effectuées dans la traversée d'allée du *Bosphorus*. Elles ont été continnées sur le même navire et sur tous les autres, depuis le commencement de la ligne, et ont donné les mêmes résultats. Il est en outre reconnu que le principe du changement d'angle est un des perfectionnements les plus notables de l'hélice propulsive, et comme je vous le montrerai, il est indispensable à son nsage général, surtout dans le cas où elle n'est qu'une auxiliaire des veiles.

« Le 22 décembre 1850, à une heure du soir, le navire faisant $9\frac{3}{4}$ nœuds, les machines 60 tours; mis l'hélice devant derrière, vitesse du navire $9\frac{1}{4}$ nœuds; désembrayé le manchon $\frac{1}{4}$ d'heure, mais quoique la vitesse du navire fût si grande, la force de l'eau sur l'hélice ne changea pas le moindrement son angle.

« Le 23 décembre 1850 courant, avec de la toile, l'angle de l'hélice étant modifié, la vitesse du navire 8 à 9 nœuds; à une heure du soir, fait tourner l'angle de l'hélice à sa position ordinaire et jeté le loch, la vitesse n'est plus que $6\frac{1}{2}$ nœuds, mis l'hélice devant derrière, vitesse du navire 8 nœuds.

« Le 13 janvier 1850, avec brise légère à deux heures du soir, stoppé les machines et laissé marcher l'hélice avec ses ailes à la position de travail habituelle, vitesse du navire $3\frac{3}{4}$ nœuds: l'hélice désembrayée et tournant à l'arrière $3\frac{1}{2}$: fixée devant derrière 4 nœuds.

« Quant au principe de changer l'angle, ou d'employer tout moyen autre par lequel on annule facilement l'action de l'hélice, en ne modifiant que le moins possible la manière de marcher à la voile et de gouvernor du navire, comparé à celui d'augmenter la vitesse du propulsenr sans fatiguer la machine en sans augmenter la consommation de combustible[1]; je suppose un navire

---

et je pense que de tels procédés sont tout à fait déplacés sur des paquebots-poste faisant un service aussi long que celui du cap de Bonne-Espérance. L'expérience a entièrement confirmé ces prévisions : la compagnie *general Screw steam shipping* a vu ses navires faire des avaries très-fréquentes et n'arriver quelquefois qu'après ceux à voiles.

Un autre mode de changer les angles, inventé par M. Griffith, a également échoué; il a éprouvé une rupture complète à bord du vaisseau *l'Agamemnon*. (*Note du traducteur*, voy. la IIe partie.)

1. Il n'y a pas lieu de craindre l'un ou l'autre de ces inconvénients. Si une machine est capable de mener

marchand (faisant par exemple le commerce de l'Inde, ou parcourant des distances aussi grandes), ayant 1200 tonneaux de jaugeage, et une machine de 100, ou seulement de 80 chevaux, qui en calme ferait faire 6 ou peut-être seulement 5 nœuds : ce qui, selon moi, constitue ce que j'appelle strictement un navire à force auxiliaire. Les avantages d'être seulement aidé pendant les calmes ou les petites brises n'indemniseraient pas alors de la mise dehors, de la dépense du fonctionnement et de l'espace perdu pour la cargaison; et à moins que le propulseur soit facilement annulé ou démonté, le retard qu'il occasionne, quelque petit qu'il soit, ½ nœud par exemple, ne serait pas compensé, par le peu de service qu'il rendrait. Mais la question change entièrement d'aspect, en supposant que ce propulseur soit facilement mis dans le plan de la quille ou démonté, et qu'il ne nuise en rien aux qualités et à la marche du navire, comme on l'a pleinement prouvé par le principe du changement d'angle, si heureusement employé par les paquebots de la ligne postale du cap de Bonne-Espérance. Car alors le propulseur n'est pas seulement employé pour entraîner le navire pendant les calmes ou les petites brises, mais aussi pour l'aider contre des vents contraires et contre le mauvais temps, sans pour cela perdre de sa vitesse quand la vapeur n'est pas nécessaire[1]. Je suis convaincu qu'avec une pareille proportion de la puissance au tonnage, un navire ferait un voyage dans l'Inde, allée et retour, ou vers tout autre pays, avec la plus grande régularité, et qu'il ne serait nullement retenu dans la Manche ou autre part par les vents contraires et le mauvais temps. Et si on ajoutait la facilité de varier les pas de l'hélice, ou d'avoir des vitesses différentes, au moyen des engrenages, le moyen de propulsion serait beaucoup plus parfait, et ne nécessiterait pas autant de puissance motrice. Car, quoique je veuille bien admettre que jusqu'à une certaine limite, le navire aidé par ses voiles a sa vitesse plus accrue par le propulseur, que s'il n'avait pas son secours; ce serait une grande erreur de croire qu'il n'y ait pas de limites à cet effet. Le fait existe, la limite est la vitesse du propulseur, toute sorte de recul étant annulé par l'aide des voiles : et plus vous pouvez faire marcher le propulseur ou augmenter son avance par l'accroissement du pas, ce qui revient au même, plus notre navire marchera vite. Mais si le surcroît de vitesse du propulseur n'est obtenu que par l'accélération du piston, les machines seront bientôt mises en pièces, et la consommation du combustible sera proportionnellement augmentée[2].

---

directement l'hélice d'un navire rapide, sans être mise en pièces, pourquoi craindre de la briser dans le cas d'un navire à petite vitesse entraîné par ses voiles. Si on tient à consommer la même quantité de combustible, il suffit de fonctionner avec d'autant plus de détente que la machine marche plus vite.

1. En agissant comme une dérive, à ce que je suppose. Sous ce rapport, son action serait presque nulle, et elle serait facilement compensée en donnant plus de profondeur de quille ou un peu plus d'extension au massif arrière.

2. Je suis du même avis que M. Hays pour beaucoup des objets avancés par lui; mais il en est d'autres qui sont manifestement faux. Il est vrai que dans le cas du navire n'employant l'hélice que comme un auxiliaire pendant les calmes, ce serait une objection très-grave, si les dispositions prises étaient nécessairement de nature à faire éprouver des retards dans d'autres cas, et personne ne songerait à employer l'hélice, si elle présentait un pareil inconvénient. Mais il est clair que cela n'est qu'une pure hypothèse : car il n'existe pas, à ma connaissance, de navires à hélice qui n'emploient cette dernière que pendant les calmes. Les navires auxiliaires dont nous avons connaissance débrayent rarement leur hélice, et, en tout cas, ils ne le feraient que lorsqu'ils sont poussés par un vent fort et favorable. Maintenant, en considérant que l'hélice est presque constamment en action, et que ce n'est que dans des cas exceptionnels qu'on se prive de son usage, même si elle a ses ailes tournantes et qu'on puisse les mettre dans le sens de la quille, la question devient de savoir si, pour jouir de ces avantages dans des cas exceptionnels et rares, il convient de se servir d'un mécanisme qui, en affaiblissant nécessairement le propulseur, rend les chances d'avaries plus fréquentes. Dans mon opinion, il n'est pas judicieux d'adopter un mal permanent ; car on doit admettre que c'en est un grave que d'être plus exposé à des

« Le principe en question présente un autre avantage, c'est que dès que les ailes sont tournées, elles peuvent passer par un puits assez petit pour n'occuper que très-peu de place derrière, et pour ne presque rien déranger dans les emménagements. Dans le cas d'avaries, les ailes peuvent être séparément enlevées et remplacées par celles de rechange.

« Vous pouvez faire ce que vous jugerez convenable de cette lettre, mais après l'opinion que vous avez publiquement émise sur mes perfectionnements, je pense que j'ai droit de vous demander d'accorder aussi de la publicité à ces explications.

« Je suis, monsieur, votre très-obéissant serviteur,

« C. D. Hays.

« *Agent résident de la G. S. S. Shipping company.* »

Cap de Bonne-Espérance, février 1852[1].

DE L'ADOPTION ET DE L'ACCROISSEMENT DE LA PROPULSION PAR L'HÉLICE DANS LA MARINE DE S. M. B.

(Les détails suivants ont été fournis par le bureau des navires à vapeur à Sommerset-House, pour accompagner les tables des dimensions et de l'utilisation des navires à hélice de la marine royale, données pages 227, 228 et 229. Comme ils présentent des documents officiels et des faits utiles à consulter, je les place ici avec quelques notes).

Quoique diverses propositions aient été faites de temps à autre, il y a plusieurs années, pour employer l'hélice comme moyen de propulsion, et qu'on ait fait un grand nombre d'expériences sur des canots ou de petits navires, ni les raisonnements des inventeurs, ni les résultats de leurs expériences n'étaient parvenus à produire une impression assez favorable sur l'application utile de ce propulseur, pour faire croire qu'il pût lutter contre la roue à aubes. La cause immédiate de son adoption dans la marine fut l'heureux voyage de *l'Archimède* autour de l'Angleterre. Ce navire avait 237 tonneaux, et il fut construit en 1838 par la compagnie du *Screw propeller*, dans le but spécial de montrer les qualités de cette nouvelle invention. Il fut pour la première fois essayé contre un navire à roues, en 1840, et les résultats de cette comparaison sont contenus dans la note suivante, qui est le premier rapport officiel fait au bureau sur la propulsion par l'hélice.

---

dérangements, et cela dans le seul but de réaliser un avantage dans quelques occasions, fût-il même plus grand qu'on n'est en droit de le croire d'après ce qu'expose M. Hays lui-même.

Quand le sillage d'un navire mixte est aidé par les voiles, l'effet relativement au propulseur est presque le même que si la résistance du navire à sa machine avait été diminuée. Par conséquent, le nombre de révolutions de l'hélice sera augmenté, mais la poussée de son arbre restera la même qu'auparavant, en supposant que la machine soit encore suffisamment fournie de vapeur. Mais si le pas est augmenté, la poussée de l'hélice sera diminuée, quelle que soit la quantité de vapeur entrée dans le cylindre. Il est vrai que le nombre de révolutions sera diminué; de sorte que la poussée continuera à se trouver proportionnelle à la dépense de vapeur. Par le fait il importe peu, relativement à l'effet produit, que le pas soit long ou court. Avec un pas long, il y aura moins de révolutions et moins de poussée; avec un petit pas, il y en aura plus et en même temps une poussée plus énergique; ou si on veut seulement avoir la même poussée qu'avec le grand pas, il suffira, pour obtenir ce résultat, de diminuer la pression de la vapeur. »

1. L'expérience a confirmé l'opinion de M. Bourne : les hélices à pas variables de la compagnie *general screw steam shipping* ont éprouvé des avaries assez graves et assez fréquentes pour faire renoncer complétement à leur emploi.

Douvres, 2 mai 1840.

« Monsieur, conformément aux instructions des lords de l'amirauté, transmises dans une lettre datée du 24 avril, pour nous charger d'examiner et de faire un rapport sur le principe d'après lequel *l'Archimède* était poussé, nous avons fait les expériences que nous avons crues utiles, et nous vous prions de soumettre la note suivante aux lords de l'amirauté. A notre arrivée ici nous avons pris nos dispositions avec le commander Boteler, par lequel le paquebot-poste *le Widgeon* fut mis à notre disposition. La table suivante montre les dimensions comparatives des deux navires, leur puissance et leur immersion.

NOMS.	TONNAGE.	DIAMÈTRE DES CYLINDRES.	LONGUEUR DE LA COURSE.	TIRANT D'EAU MOYEN.
		m.	m.	m.
Widgeon.......	162	0,978	0,940	2,215
Archimède.....	237	0,928	0,915	2,846

« *Le Widgeon* est le paquebot le plus rapide de la station de Douvres. Il a 10 chevaux de puissance de plus, et prend 75 tonneaux de chargement de moins que *l'Archimède*. Le tirant d'eau moyen du premier est de 2 pieds 1 pouce moindre que celui du second.

EXPÉRIENCES.

« 1° Notre premier essai a eu lieu sur un parcours de 19 milles à l'O.-S.-O., à partir de la rade de Douvres, avec une légère brise de l'arrière et belle mer, mais sans voiles établies; la machine de *l'Archimède* faisait 27 tours par minute, et la vitesse du navire était 8,5 nœuds par heure. *Le Widgeon* parcourut la distance totale en 6 minutes de moins que *l'Archimède*. 2° En parcourant en sens inverse les mêmes 19 milles vers la rade de Douvres, sans voiles et contre une brise modérée, la machine de *l'Archimède* faisait 26 tours, et sa vitesse était de 7 $\frac{1}{2}$ à 8 nœuds par heure. *Le Widgeon* parcourut la même distance en 10 minutes de moins que *l'Archimède*. 3° La troisième expérience fut en parcours de 19 milles, de la rade de Douvres à celle de Calais, avec calme plat, et la mer aussi unie qu'une glace; la machine de *l'Archimède* faisait 27 tours, et la vitesse était de 8 $\frac{1}{2}$ à 9 nœuds: *le Widgeon* mit 3 minutes $\frac{1}{2}$ de moins à faire le trajet, dont la durée totale pour *l'Archimède* fut de 2 heures 9 minutes $\frac{1}{2}$. 4° En retournant à Douvres, avec la même circonstance de temps, et en partant au même instant que le paquebot français *la Poste*, *l'Archimède* et sa machine marchèrent comme la première fois, *le Widgeon* mit 4 minutes de moins, et *l'Archimède* 25 minutes de moins que *la Poste* : la puissance des machines de ce dernier n'est que de 50 chevaux. 5° Dans cet essai il y avait une brise fraîche à l'est, et une mer modérée. Les deux navires établirent toutes leurs voiles : *l'Archimède* en avait beaucoup plus que *le Widgeon*, le parcours fut comme d'abord entre Douvres et Calais, et au plus près du vent. La machine de *l'Archimède* donnait de 27 à 28 coups de piston, et sa vitesse était de 9 à 9 $\frac{1}{2}$ nœuds; il parcourut la distance en 9 minutes de moins que *le Widgeon*. 6° En retournant à Douvres, avec une brise fraîche du travers et toutes voiles dessus, la machine de *l'Archimède* à 28 tours et sa vitesse à 10 nœuds, il parcourut la distance en 5 minutes $\frac{1}{2}$ de moins que *le Widgeon*.

REMARQUES.

« Ces expériences montrent clairement, que la vitesse de *l'Archimède* est légèrement inférieure à celle du *Widgeon*, avec les brises légères et la mer belle; mais comme la puissance motrice du premier est de 10 chevaux moindre, et son tonnage de 75 tonneaux plus fort que celui du *Widgeon*, il est évident que dans cette sorte de navire, la puissance propulsive de l'hélice est égale, sinon supérieure à celle de la roue à aubes ordinaires. On peut considérer que l'invention de M. Smith est complétement couronnée du succès. Il faut considérer aussi qu'en marchant pendant le second essai contre une petite brise, les mâts peu élevés et le gréement léger du *Widgeon* lui donnaient de l'avantage sur *l'Archimède*, dont les mâts sont plus hauts et le gréement plus leurd, et quoique les calmes nous aient empêchés de les essayer contre une brise très fraîche, nous pensons que *le Widgeon* aurait encore plus d'avantage en marchant contre le vent. Mais dans les deux derniers essais, l'action des voiles fut très-faverable à *l'Archimède*, en ce qu'il battit *le Widgeon* et parcourut la distance de Calais à Douvres, en moins de temps que ne l'avaient jamais fait les paquebots-poste de Sa Majesté : *l'Archimède* vint alors de Douvres à Calais en 2 heures 1 minute, et retourna en 1 heure 53 minutes ½.

« Il y a deux objets d'une grande importance relativement à la propulsion par l'hélice, qu'il ne faut point passer sous silence. D'abord c'est le bruit des engrenages nécessaires pour donner à l'arbre une rotation suffisamment rapide; secondement, ce sont les chances de dérangement et d'une prompte usure de ces engrenages. Nous pensons que le bruit des roues dentées suffit seul pour en exclure l'usage à bord des paquebots de Sa Majesté. M. Smith propose de substituer aux roues actuelles un renvoi de mouvements en spirale (*spiral gearing*), et un modèle de cette méthode sera soumis à leurs seigneuries en même temps que ce rapport. Comme il est dans les intentions de M. Smith d'expérimenter avant peu ces changements, nous nous abstenons d'en parler pour le moment.

« C'est probablement dans la propulsion des navires de guerre que l'invention de M. Smith montrera le plus d'avantages. Car si on ne parvient pas à faire disparaître le bruit de l'engrenage ce serait de peu d'importance; puisqu'en dehors il est beaucoup moins fort que celui de la roue à aubes ordinaires. Un navire ayant une hélice propulsive peut être employé à la voile ou à la vapeur, ou encore avec les deux moteurs réunis : et nous nous sommes assurés par des expériences, que la machine est réunie ou séparée du propulseur par tous les temps, dans deux ou trois minutes. En faisant beaucoup de toile, l'inclinaison du navire ne diminue en rien la manière dont l'hélice pousse le bâtiment et elle n'arrête pas le sillage comme les roues à aubes. La suppression des tambours rend les côtés libres pour les armer et permettrait d'aborder bord à bord un navire ennemi. En outre, il est utile de confirmer que l'action de l'hélice fait mieux gouverner et qu'elle fait marcher en arrière aussi promptement que les roues.

« Nous avons l'honneur d'être, Monsieur, vos très-obéissants serviteurs,

« E. Chappel, *Capitaine*.

« F. Lloyd, *Secrétaire de l'Amirauté*. »

Il est évident qu'une comparaison exacte entre les roues et l'hélice ne pouvait être établie avec *le Widgeon* et *l'Archimède*, qui ne se ressemblaient ni par leurs formes, ni par leurs dimensions; mais ces premiers essais montraient tout l'intérêt qu'il y avait à en exécuter de nouveaux, surtout en considérant combien l'hélice convenait aux navires de guerre; il fallait donc évidemment pousser plus loin ces essais de manière à ne laisser aucun doute dans les conclusions. Dans ce but, on ordonna la construction du *Rattler*; et, pour rendre l'expérience plus

concluante, en le mit en chantier en même temps que *l'Alecto*, en allongeant l'arrière du premier pour y placer l'hélice, et les deux navires reçurent des machines de puissance égale et d'une disposition déjà éprouvée sur les navires à roues.

Les essais en rivière du *Rattler* durèrent d'octobre 1843 jusqu'au commencement de 1845, et ils montrèrent qu'il y avait avantage à réduire les deux demi-pas qu'avait l'hélice à un tiers de cette longueur. Ce changement diminua beaucoup son poids, facilita son démontage et son montage et rendit inutile la grande étendue du trou dans le massif arrière du navire. Afin de vérifier si cette amélioration ne venait pas de ce qu'une fois réduite, l'hélice avait pour se mouvoir un espace plus libre, on boucha le trou du massif, afin de ne laisser à l'hélice que l'espace nécessaire à son jeu[1]. Le résultat de cette expérience montra que dans de nouveaux navires l'espace pour l'hélice peuvait avoir des dimensions très-modérées, sans diminuer l'effet du propulseur. Ces essais prouvèrent aussi qu'en eau tranquille l'hélice n'était pas inférieure aux roues.

Au commencement de 1845 *le Rattler* navigua avec *le Victoria* et *Albert* et avec *le Black-Eagle*, depuis Portsmouth jusqu'à Pembroke. En contournant Land's-End et marchant contre une forte brise debout, ces deux navires montrèrent une grande supériorité, comme on devait s'y attendre à cause de leur puissance beaucoup plus grande que celle du *Rattler*, en comparaison de leur résistance et parce que leurs roues étaient du système articulé. L'insuccès apparent du *Rattler* produisit une impression défavorable sur l'opinion publique au sujet de la manière d'agir de l'hélice en luttant contre un grand vent et une grosse mer, et cette impression existe encore, quoiqu'on n'ait pas encore montré de preuves de son infériorité sous ce rapport. Car dans les essais suivants du *Rattler* et de *l'Alecto* contre de grands vents debout, seule occasion dans laquelle l'hélice ait été bien essayée dans de telles circonstances, avec un navire à roues, il paraît qu'on n'obtint d'avantage décidé d'aucun côté[2]; les partisans de chaque système réclamèrent alors la supériorité, et on admit qu'avec beau temps l'hélice avait eu un peu d'avantage sur la roue[3].

Le Rattler fut ensuite essayé contre *le Vésuvius*, en allant de la Tamise à Leith et il eut une supériorité marquée sur les roues à aubes, dont la puissance était beaucoup plus grande relativement au tonnage[4]. Avant de joindre l'escadre sous les ordres de l'amiral Hyde Parker en

---

1. On essaya aussi s'il y aurait une différence entre les résultats, si l'hélice était placée tout à fait à l'avant ou à la partie de l'arrière de l'ouverture, et on n'observa pas de changement appréciable. Je pense cependant qu'on en aurait découvert un, si le bâtiment avait été employé à en remorquer un autre, ou s'il avait lutté contre des vents contraires, et que dans ce cas la position le plus en avant possible aurait donné les meilleurs résultats. En France, on l'a essayé en projetant l'hélice en dehors de l'étambot, et on prétend y avoir trouvé de l'avantage; mais, dans des essais faits à Woolwich, on n'en a éprouvé aucun. Je pense que cela dépend beaucoup des formes du navire vers l'arrière. Dans ceux à grosses façons, il y aurait, je crois, profit à placer l'hélice derrière le gouvernail, tandis qu'à bord de ceux dont les formes sont convenables, je pense qu'il est préférable de placer l'hélice le plus loin possible de l'avant, dans le massif arrière, et aussi bas que possible dans l'eau.

2. On n'a pas trouvé d'avantage décidé pour la vitesse, mais on en a remarqué un très-notable du côté des roues, relativement à la puissance dépensée.

3. Elle a un avantage dans le cas d'une immersion profonde, excepté quand les roues sont à palettes articulées. Celles-ci montrent en toutes circonstances une grande supériorité; toutefois elles sont très-dispendieuses et très-compliquées : leur usure et leur entretien coûtent fort cher, et elles sont exposées à des avaries avec de la grosse mer, surtout quand les navires font de longs voyages, pendant lesquels les roues ne sont pas souvent visitées et remises en état.

4. Ce n'est pas une expérience relative, à moins qu'on n'alloue quelque chose pour les différences de puissance et de dimensions des différents navires.

juillet 1845, *le Rattler* fut employé à remorquer *l'Erebus* et *la Terror* aux îles Orkney, et il paraît qu'il exécuta ce service à la satisfaction de sir John Franklin. Cependant, avant cette époque, *la Bee* fut construite avec les roues à aubes et l'hélice pour l'instruction des officiers du collége naval royal. *Le Dwarf* fut acheté après avoir obtenu les douze milles exigés par le marché, et *la Fairy* fut construite pour l'usage de Sa Majesté. Mais quoique les expériences faites sur ces deux derniers navires aient jeté quelque lumière sur l'action de l'hélice et montré que par son moyen on obtenait des vitesses comparativement plus grandes, cependant elles ne pouvaient pas être regardées comme assez positives pour entreprendre de l'employer pour de grands navires. Quelques compagnies particulières conçurent une opinion assez favorable de l'hélice pour en tenter l'emploi : deux d'entre elles le firent sur une grande échelle. *Le Great Britain* de 3000 tonneaux arriva dans la Tamise en janvier 1845[1], et *le Great Northern* de 1515 tonneaux deux ans auparavant. Aucun de ces bâtiments ne marcha assez longtemps : le premier a fait naufrage et le second a été brisé, mais les résultats de l'hélice furent néanmoins regardés comme satisfaisants.

A l'époque où la marine à vapeur allait être considérablement augmentée, l'administration fut entraînée à décider l'adoption de l'hélice pour la marine royale, par les résultats du *Rattler* et par-dessus tout, par l'opinion favorable et unanime de tous les officiers sur sa manière de fonctionner. Il fut aussi arrêté que toutes les machines construites dans ce but seraient placées au-dessous du niveau de l'eau. C'était s'écarter d'une manière notable de ce qui avait été fait jusqu'alors, et adopter des principes, qui seuls permettent au navire à vapeur d'être vraiment propre à la guerre. Le bureau de l'amirauté ordonna également que l'hélice pût être montée ou démontée avec facilité et promptitude par tous les temps[2] : rendant ainsi le navire aussi parfait voilier que possible, toutes les fois que la force de la vapeur n'était pas nécessaire.

Pour remplir les différentes conditions indiquées il fallut inventer de nouvelles formes de machines et de nouveaux modes d'application, puisque à cette époque il n'existait aucune sorte d'appareil, qui se prêtât aux nouvelles exigences. On appela donc tous les ingénieurs éminents de l'Angleterre, pour qu'ils eussent à proposer les constructions et les dispositions de machines qu'ils penseraient les plus convenables; les dimensions du propulseur et le nombre de tours qu'il était destiné à faire leur étaient donnés pour les guider, tout en insistant sur la nécessité de placer l'appareil entier sous la ligne d'eau. Excepté ces conditions générales, les ingénieurs civils furent laissés entièrement libres; de sorte que, voyant devant eux une arène aussi vaste que nouvelle ouverte à leurs inventions, ils présentèrent, comme on devait s'y attendre, une grande variété de plans et les résultats de leur habileté et de leur expérience en fait de machines. Ces plans différaient beaucoup entre eux; quelques-uns avaient des engrenages, d'autres s'en étaient exemptés et un grand nombre paraissaient présenter de grandes qualités. Parmi toutes ces propositions on fit un choix, en donnant aux ingénieurs civils éminents une occasion d'exécuter au moins un des plans qu'ils avaient proposés, et dans aucun cas on ne commanda plus de deux machines du même système. Cette décision a été judicieuse, quand on pense qu'on n'avait pas encore d'expérience sur cette nouvelle application de la puissance de la vapeur.

En 1845, on passa des marchés pour quinze paires de machines à hélice, destinées à des navires de différentes dimensions, et, d'après l'avis de la commission de la défense des ports, on en destina huit paires pour ce qu'on nomma d'abord *Block ships*; quatre de ces derniers étaient des vaisseaux et quatre autres des frégates. La manière favorable dont les premiers

1. Avant cette époque, on avait construit *le Princeton* en Amérique et *la Pomone* en France : l'un et l'autre avait les machines en dessous de la ligne d'eau.

2. Cette disposition a été présentée par Taylor, et elle est détaillée page 8 de cet ouvrage; mais *le Chaptal* est le premier navire sur lequel on l'ait exécutée. (Voir deuxième partie.)

ont marché, semble avoir fait modifier leur première destination de batteries flottantes, et les a fait employer à la mer, de manière à servir avec avantage dans une escadre [1]. Parmi les quatre frégates block-ships, une seule a été exécutée, et on lui a mis des machines plus faibles qu'on ne l'avait d'abord décidé : elle n'est pas encore terminée.

Pour mieux connaître les qualités relatives de l'hélice, on construisit un navire à roues *le Basilisk*, d'après les mêmes lignes que *le Niger*, et on lui donna des machines de la même force. On peut établir, en peu de mots les résultats des expériences récentes de ces deux navires. De beau temps, lorsque la même puissance mécanique était développée, il y avait peu de différence de vitesse, et quand il était possible de faire de la voile, l'avantage était du côté de l'hélice [2]. On eut occassion d'essayer les deux navires vent debout et avec gros temps, question importante, qui n'avait pas été résolue antérieurement [3]. La dépense du charbon était beaucoup plus grande à bord du *Niger* que sur *le Basilisk;* mais ce désavantage résultait de la construction des chaudières, ainsi que des machines et non des qualités ou des défauts des moyens de propulsion. Autant qu'on peut en juger par les expériences faites sur les machines à hélice, on doit dire que toutes ont eu plus ou moins de succès, et qu'aucune d'entre elles ne saurait être regardée comme n'ayant pas réussi : mais les fabricants seuls peuvent apprécier les portes pécuniaires supportées par plusieurs d'entre eux, et les grandes anxiétés auxquelles ils ont tous été en proie. Il n'existait pas alors des expériences précises pour baser une opinion saine des formes particulières des machines qui seraient adoptées; mais maintenant le choix est facile à faire dans des limites comparativement étroites, et l'expérience porte à croire qu'on ne tardera pas à abandonner les engrenages, et à éviter ainsi le bruit, tant objecté, lors des premiers essais de l'hélice. On augmentera la simplicité des machines, et on diminuera le poids ainsi que le volume qu'elles occupent [4].

Il existe un fait important, dont beaucoup de personnes doutaient au commencement des essais de l'hélice, mais qui a été prouvé d'une manière incontestable, et qui après avoir déjà conduit à des résultats remarquables, tend à étendre beaucoup l'usage du nouveau propulseur. Il a été mis hors de doute, qu'il est inutile d'employer des dispositions compliquées pour changer l'angle de l'hélice, ou d'avoir, comme quelques navires du commerce, des engrenages différentiels, pour varier les vitesses de rotation, afin de permettre aux machines d'agir avantageusement dans les cas où une voilure plus ou moins favorable accélère la marche.

---

1. Les batteries flottantes ne perdent en rien de leur utilité en leur donnant des formes capables de separer l'eau avec facilité, et cette remarque leur est applicable, qu'elles soient mues par les voiles ou par la vapeur.

2. Le navire à hélice avait plutôt l'avantage avec les voiles seules qu'avec voiles et vapeur. Toutefois, avec de profondes immersions, l'hélice l'emportait sur les roues ; mais avec des tirants d'eau moyens ou faibles, c'était du côté de la roue que penchait la balance.

3. Les expériences du *Rattler* et de *l'Alecto*, faites antérieurement, avaient montré que contre un fort vent la vitesse des deux navires était à peu près la même, mais que le navire à hélice consommait beaucoup plus de charbon. Ce résultat s'est trouvé confirmé par des expériences postérieures.

4. J'adopte entièrement cette opinion, et on peut déjà mettre les engrenages au rang des antiquités de la science mécanique. Ils ne font qu'ajouter aux nombreux exemples de la faiblesse humaine, en voyant des ingénieurs tenir, comme quelques-uns le font encore, à un expédient aussi superflu et aussi encombrant que les engrenages. Mais la gravitation des faits est inévitable : on ne saurait lui résister ; et s'il y a des ingénieurs qui ne veulent pas abandonner les engrenages, le public le fera certainement pour eux. C'est une chose monstrueuse de voir faire des machines trois ou quatre fois plus grandes et plus lourdes que ce n'est nécessaire, et dans quel but ? Pour diminuer l'usure et l'entretien, ce qui peut être aussi bien obtenu en donnant à tous les portages une surface proportionnelle à l'accroissement de vitesse ; et il serait aussi juste que raisonnable de ne faire marcher les machines ordinaires qu'avec la moitié de leur vitesse, afin que leurs portages n'aient que la moitié de leur surface, que d'empêcher les machines à hélice d'avoir une plus grande vitesse.

Si, par exemple, une hélice et son engrenage sont disposés pour faire parcourir 5 milles à l'heure, le nombre de coups de piston ne sera pas augmenté d'une manière incommode, ou l'effet de l'hélice ne sera pas diminué, lorsque, par l'addition des voiles, le sillage du navire sera porté à 10 nœuds. Ainsi, l'hélice seule devient un auxiliaire utile sur toutes sortes de navires, et qu'elle soit employée isolément, ou conjointement avec les voiles, elle produit toujours une vitesse supérieure à ce que donnerait la voilure seule dans les mêmes circonstances [1]. Cela est confirmé tous les jours par la manière favorable dont fonctionnent beaucoup de navires marchands à puissance auxiliaire. Les premiers navires à hélice ne trafiquaient que d'un port à l'autre ; mais leurs voyages s'étendent maintenant jusqu'à Constantinople : et d'après ce qui a été fait, il paraît très-probable que, quand il s'agira de faire de longs voyages dans un temps raisonnablement court, les navires à voiles pourvus d'hélice deviendront capables de rivaliser avec les bâtiments à vapeur à grande puissance, qui sont si dispendieux [2].

Il y a une autre application de l'hélice qui, bien que moins importante que celle des bâtiments ordinaires, ne mérite pas moins d'attirer l'attention plus qu'elle ne l'a fait jusqu'à présent : c'est de faire manœuvrer ces grands navires dans lesquels on n'a pu mettre de machines assez puissantes, ou bien où l'on pense qu'il ne convient pas d'en placer. Il n'y a pas de doute à avoir sur l'importance d'un tel instrument poussé par une machine de 50 chevaux seulement. On ne saurait guère apprécier toute l'utilité de l'hélice, jusqu'à ce qu'elle ait été employée dans la marine de Sa Majesté.

Comme la forme convenable aux arrières des navires à hélice n'a été, au moment de leur adoption et quelque temps après, qu'une affaire d'appréciation plutôt qu'une déduction de principes connus ou de faits établis, des opinions très-variées ont été émises par les différentes personnes chargées de faire les plans de ces nouveaux navires et dans le but d'établir dans quelles limites il fallait faire les nouvelles formes, les bureaux de l'amirauté firent exécuter plusieurs expériences sur *le Dwarf* [3]. On exécuta ces expériences en fixant temporairement aux tôles de la carène quelques couches de bois, de manière à rendre l'arrière aussi plein qu'aucun de ceux des navires en construction. La grande diminution de vitesse de 9 nœuds à moins de 4 montra clairement combien il serait nuisible d'adopter de telles formes, et tous les navires alors en cours de construction eurent leur arrière plus ou moins modifié en avant de l'ouverture de l'hélice, excepté ceux qui n'étaient pas assez avancés pour nécessiter des changements.

La grande importance ou plutôt la nécessité de donner aux navires les formes qui favorisent le plus le sillage et aident l'hélice ne saurait être mise en question, et dans le cas d'une marche rapide, c'est indispensable; car sans cela il est impossible d'atteindre le but proposé.

1. J'ai fait quelques remarques à ce sujet dans les notes relatives à la lettre de M. Haye, donnée dans l'Appendice.

2. La difficulté est l'accroissement de consommation de charbon, en luttant contre les vents contraires avec la vitesse nécessaire à des bâtiments qui portent des dépêches importantes. Sans doute il est possible de faire qu'un vent contraire aide la marche du navire plus qu'il ne l'arrête, mais cette idée n'a pas encore été mise en pratique.

3. Ces expériences ont été proposées par M. Lloyd, qui doutait qu'il fallût faire les arrières des navires aussi pleins qu'on le voulait alors. M. Smith pensait qu'un arrière plein faciliterait l'action de l'hélice, et cela serait peut-être vrai, si la vitesse du navire n'en éprouvait pas une diminution. Mais le retard considérable éprouvé à cause de la grosseur de l'arrière réduit la colonne d'eau sur laquelle l'hélice agit, et diminue ainsi l'utilisation du propulseur autant que la marche du navire; tandis que l'impulsion donnée à l'eau par l'hélice l'empêche de remplir le vide, qui tend à se faire à l'arrière du navire. Rien n'est plus important pour le succès des navires à hélice, que de faire leur arrière très-fin, et, sur ceux qui ne sont pas construits ainsi, je pense qu'il vaudrait mieux placer l'hélice plus en arrière qu'on ne le fait d'habitude.

Mais si une forme avantageuse n'est pas absolument nécessaire pour une marche modérée, elle a cependant encore une beaucoup plus grande importence qu'on ne parait le supposer généralement; car une mauvaise forme entraine à une grande dépense de force inutile et à tous les défauts qui en résultent. Si, par exemple, un navire qui, s'il avait de bonnes formes, filerait 7,5 nœuds ne se trouve en faire que 6, il en résulte que plus de la moitié de la force motrice est perdue et avec elle la moitié de l'achat primitif de l'appareil, et la dépense d'entretien, d'usure et de combustible est double de ce qu'elle devrait être. En outre en perd l'avantage de disposer de la moitié du poids et du volume de la machine, des chaudières et du charbon; ou en réduisant l'espace libre, on éprouve le désavantage de ne prendre de charbon que pour le tiers du nombre de jours qu'on serait à même d'embarquer, si une aussi grande partie du tonnage n'était pas inutilement consacrée à l'appareil. Ce sont probablement ces considérations qui ont engagé le bureau à ordonner d'améliorer les arrières de tant de navires à hélice, afin d'obtenir des avantages qui ne sont ni douteux, ni peu importants, au point qu'ils n'ont pas fait reculer devant la dépense nécessaire à toutes ces modifications. Les expériences qui suivirent montrèrent la justesse de ces décisions[1].

Les machines à hélice commandées de 1841 à 1844 sont au nombre de 8; en 1845, il y en a eu 26, y compris *l'Erebus* et *la Terreur*. En 1847, on en a fait 9; en 1848, 2 pour les chaloupes de *l'Investigator* et de *la Recherche*, ce qui fait en tout 45.

Les nombres de la dernière colonne de la table donnée dans l'appendice à la page 229 et dans la colonne antépécédente, montrent à peu près, sous le rapport de la vitesse, les qualités relatives des formes des différents navires ainsi que l'utilisation de leur propulseur.

Les formules d'après lesquelles on a calculé ces données sont fondées sur la supposition que les résistances des navires varient comme le carré de leur vitesse, et que par conséquent la puissance nécessaire pour produire cette vitesse varie comme le cube[2]. En outre la puissance utile des machines, c'est-à-dire celle qui reste après avoir déduit la force absorbée par les frottements, les pompes à air, etc., montre un rapport constant avec la puissance développée dans le cylindre, désignée par le terme de puissance mesurée par l'indicateur (*indicated horse power*). Dans la première de ces colonnes, il est admis que la résistance varie comme l'aire de la maîtresse section, et dans la dernière comme la racine cubique du carré du déplacement[3]. Aucune de ces manières de calculer, surtout les deux dernières, ne sont exactement correctes; mais il

---

1. Il est à regretter que tous les navires de la marine, qu'ils soient à voiles ou à hélice, n'aient pas des formes qui répondent aux idées exprimées dans cette note. On ne diminue pas la faculté de porter des canons ou toute autre charge sur les ponts, en donnant aux navires une forme convenable pour la vitesse; et une réduction de dépense, ainsi qu'une augmentation de marche, serait le résultat d'une telle modification. Si des navires à grande vitesse sont bons pour le commerce, ils le sont à plus forte raison pour la marine; et si on pouvait seulement abandonner des idées et des préjugés anciens, on aurait promptement pour le service de l'État une classe de navires de qualités très-supérieures. Un de ces préjugés consiste en ce que nul, excepté un homme de la marine (*naval man*), ne peut comprendre et réaliser les conditions nécessaires pour mettre un navire en état de porter des canons, et pour le rendre propre à servir à la guerre sous d'autres rapports. Tandis que si les conditions, quelles qu'elles fussent, étaient seulement spécifiées, et que l'esprit public fût dirigé vers leur appréciation, on trouverait aussitôt combien le résultat serait supérieur à ce qui a été fait jusqu'à présent.

2. Mais la vitesse varie dans un rapport plus grand que le carré, comme on l'a mentionné dans le cours de cet ouvrage, où j'ai également expliqué que la poussée théorique de l'hélice, diminuée de la poussée réelle mesurée par le dynamomètre, donne la quantité de force consommée par les frottements des machines et de l'hélice.

3. Pour présenter des résultats exacts, une telle comparaison devrait tenir compte, non-seulement de la forme de la carène et de la proportion de la surface de sa section à la force de la machine, mais aussi des dimensions du bâtiment : car les petits navires sont poussés avec plus de difficulté que les grands, même quand ils sont semblables sous tous les rapports.

est probable qu'elles ne s'éloignent pas assez de la vérité pour faire perdre l'intérêt et l'utilité des comparaisons dont elles sont la base, et qui sont établies entre tous les navires. Quand ceux-ci ne diffèrent pas beaucoup par leur déplacement et leurs machines, ou par l'aire de leur maîtresse section, une telle comparaison est non-seulement très-intéressante, mais elle acquiert une grande valeur en montrant les formes des navires et les proportions du propulseur qu'il convient d'adopter. Dans quelques cas, il est inutile de faire d'autres expériences que celles de la vitesse : par exemple, après que *le Teazer* eut ses formes améliorées, il marcha environ un mille de plus par heure avec 40 chevaux de puissance, qu'il ne faisait avant sa correction avec 100 chevaux. Et ces machines de 100 chevaux, une fois transférées à bord du *Rifleman*, navire ayant presque le double du tonnage du *Teazer*, l'entraînaient, après la modification des formes, aussi vite que le faisaient avant des machines d'une puissance double; elles produisaient une vitesse de près de 2 nœuds de plus que ces mêmes machines n'imprimaient au plus petit des deux navires avant qu'on eût corrigé ses formes de l'arrière.

Somerset-House, mai 1850.

NAVIRES A VAPEUR EN BOIS ET BATIMENTS EN FER.

Les avantages relatifs du bois ou du fer pour la construction navale sont devenus une question d'une grande importance pratique. On a émis des opinions exagérées sur chacun de ces modes de constructions, et les navires en fer ne sont en réalité ni aussi bons, ni aussi mauvais qu'on l'a prétendu. Notre expérience des navires en fer est encore trop limitée, pour nous permettre d'établir combien ils sont meilleurs ou plus mauvais que ceux en bois, dans les circonstances si variées de la pratique. Cependant on a déjà suffisamment employé les navires en fer, pour savoir que dans certains cas ils valent mieux que ceux en bois, et que dans d'autres c'est l'inverse, et que toutes les opinions émises à leur sujet, ont été trop exagérées pour être complétement admises. Au lieu de nous poser en partisan de l'un ou de l'autre système, il sera plus utile d'examiner dans quelles circonstances le fer doit être préféré ou rejeté, et dès lors l'évidence des faits est la seule raison de préférence qu'il faille adopter. Dans de telles recherches on est trop souvent porté à généraliser sur des observations trop peu étendues, car il est plus laborieux de recueillir des faits et de les vérifier, que d'avancer une théorie, ou d'adopter des principes, et ce n'est qu'en acceptant chaque fait que pour ce qu'il vaut, que nous ne courrons pas le risque d'être plus tard forcé de nous rétracter.

La principale objection contre le bois pour la construction navale, est sa prompte détérioration. On a vu plusieurs fois des navires détruits par la pourriture sèche pendant qu'ils étaient encore sur les chantiers : *l'Océan*, *le San-Domingo*, *l'Ajax*, et plusieurs autres vaisseaux ont été complétement pourris en quatre ans, et en général quatre à cinq années semblent être la limite des frégates construites avec le pin d'Amérique. Cependant on a vu aussi des navires en bois durer plus de cent ans. *Le Royal William*, construit en 1719, a duré plus de cent ans, *le Sovereign of the Seas*, construit en 1639, a duré quarante-sept ans; et plusieurs navires marchands ont eu de quarante à cinquante années d'existence. Mais la durée moyenne d'un navire a été estimée à quatorze ans par la commission des bois et forêts, dans un rapport de 1812 sur les bois de la marine; et il y a tout lieu de croire que cette estimation est trop élevée. La pourriture sèche est un ennemi si perfide et si destructeur, qu'il est très-difficile de se préserver de ses attaques ou de prédire jusqu'où s'étendront ses dévastations; et malgré les progrès des sciences, il est certain que dans ces derniers temps elle a exercé encore plus de ravages. Cela vient certainement de l'emploi de bois d'une qualité médiocre; car il est reconnu que certaines espèces de chêne durent beaucoup moins que d'autres, et les

pièces de bois du plus bel aspect sont très-souvent les plus mauvaises. Le chêne de Dermast est le meilleur de ceux qui croissent dans ce pays, il y en a dans New-Forest et il est facile à distinguer des autres par sa feuille. Le chêne de Sussex était jadis très-réputé, mais on n'en trouve presque plus, et on emploie maintenant beaucoup de chêne de Galles, quoiqu'il soit d'une espèce qui dure peu. Le live-oak d'Amérique est presque impérissable, mais il est très-rare et ne vient pas en Europe. Le chêne de Bretagne qui est employé à la constructien des vaisseaux français est d'une excellente qualité; mais celui des provinces rhénanes employé par les Hollandais dure peu, et on le sale pour le conserver plus longtemps. Les différentes manières de préserver le bois de la pourriture sèche, dont on avait beaucoup espéré dans l'origine, n'ont donné aucun résultat satisfaisant. Le procédé de Kyan, pour conserver par la coagulation de l'albumine du sap, au moyen du sublimé corrosif, est très-dispendieux et ronge les boulons. Les inventeurs Payne, Bethell, Margery et Burnett promettaient tous des procédés pour préserver le bois de la pourriture et des insectes; pour en essayer les qualités, j'emportai avec moi dans l'Inde des morceaux de bois préparés d'après les diverses méthodes de ces patentes, et je les plaçai de manière à les exposer aux attaques des fourmis blanches et à la pourriture. Dans une situation sèche, il n'y avait pas d'altération sensible au bout de plusieurs mois; mais dans l'humidité tous les spécimens commencèrent à pourrir, et ils auraient été entièrement mangés, si on ne les avait enlevés. Les morceaux de bois préparés par la méthode de Bethell en les imprégnant de créosote, étaient moins endommagés que le reste; mais le bois préparé de la sorte est très-inflammable, et plusieurs viaducs de chemin de fer, construits avec le bois ainsi imprégné, ont été brûlés par les flammèches sorties des locomotives au passage des trains.

Plusieurs de ces procédés consistent à plonger ou à bouillir le bois dans le liquide; d'autres font entrer ce dernier de force dans les pores par une pression hydrostatique. L'introduction directe dans l'arbre encore vivant est préférable, et s'opère en versant le liquide dans une auge d'argile; autour du tronc, en pratique des trous et des incisions dans l'écorce pour que le liquide soit sucé par l'action vitale de l'arbre lui-même. Dans les arsenaux on fait bouillir le bois dans de l'eau douce, pour coaguler la séve, mais c'est une méthode de conservation très-imparfaite, et de très-grandes réparations sont souvent nécessaires à bord de navires, qui ne sont jamais sortis du port. Depuis longtemps on sait que les navires désarmés exigent souvent plus de réparations que ceux qui sont à la mer, et on a trouvé que les yachts qui restent le plus souvent échoués sur le vase à Cowes, sont attaqués par la pourriture sèche, pendant que ceux qui naviguent en sont exempts. Les navires désarmés ont toujours de l'eau stagnante dans leur cale, car les pompes ne peuvont l'extraire complétement, et cette eau stagnante contribue beaucoup à produire la pourriture sèche. Il serait donc très-utile de pourvoir chaque navire désarmé d'un robinet laissant entrer à volonté l'eau de la mer, pour l'enlever à mesure ou du moins de temps en temps, par une pompe mue au moyen d'un petit moulin à vent, de manière à rejeter hors du bord l'eau ainsi admise, après qu'elle a changé celle de l'intérieur. Le moulin à vent étant petit et portatif serait transporté d'un navire à l'autre, et la pourriture sèche serait ainsi évitée ou diminuée, moyennant une très-petite dépense. (Ce procédé a été proposé au capitaine Bourne, par M. White de Cowes.)

Quelques constructeurs, par un choix attentif de leur bois, par sa distribution judicieuse et par des moyens convenables de propreté et de ventilation, ont tellement réussi à empêcher la pourriture sèche, qu'ils savent à peine ce que c'est; mais, en considérant la généralité des navires, c'est un mal sérieux et qui ne fait qu'augmenter. Comme le pays commence à être dénudé de ses forêts, le chêne d'une qualité convenable pour les constructions maritimes devient très-rare et par conséquent on emploie des qualités inférieures, d'où résulte une durée moindre. Mais tandis que la rareté du bois augmente, le fer est une matière que nous possédons en plus grande abondance que les autres nations, et si la tendance des événements rend le chêne et toute sorte de bois du pays de plus en plus cher, elle porte aussi à baisser de plus en plus le prix du fer.

Chaque perfectionnement dans la fabrication de ce dernier diminue la dépense de sa production, et ce serait un avantage important si ces améliorations parvenaient à protéger nos intérêts maritimes. Ils seront certainement favorisés par tout ce qui diminuera le coût des navires et par ce qui augmentera leurs qualités, et, si le fer sert à obtenir ces deux avantages, ou seulement l'un des deux, tandis qu'en même temps il nous permet d'en jouir dans une plus grande proportion que les autres nations, nous devons certainement nous réjouir de son adoption. Il n'y a pas de raison pour nous laisser décourager par le peu de succès de quelques expériences, et pour être détournés de poursuivre cette carrière d'entreprises mécaniques dans laquelle nous sommes entrés hardiment et vers laquelle nous sommes poussés par les exigences de notre présente condition. Si le bon bois devient tous les jours plus cher et plus rare, le fer de bonne qualité et de bas prix est plus abondant ; l'abandon de l'un des deux matériaux de la construction et l'adoption de l'autre sont une nécessité physique, quand même la matière la moins chère serait trouvée la plus mauvaise ; et, sous l'impulsion de cette nécessité, il est impossible que les navires en fer soient dédaignés ou délaissés pour des raisons légères et sans fondement. Il y a toutefois plusieurs défauts sérieux à reprocher aux navires en fer, et quoiqu'il n'y ait pas d'obstacles insurmontables pour les corriger, ils n'en existent pas moins actuellement : il sera donc convenable de les examiner, ainsi que les moyens de les corriger éprouvés par l'expérience et indiqués par les personnes les plus compétentes.

SALETÉ DES CARÈNES EN FER.

L'accumulation des herbes marines et des berniques sur les carènes des navires en fer n'est pas aussi grande dans nos latitudes, et ne présente pas aux constructions de cette nature une objection aussi forte que dans les pays tropicaux et dans la Méditerranée ou la mer Noire. Les carènes se salissent plus vite si le navire reste dans l'eau salée, à la fin de chaque voyage, que s'il entre dans quelque rivière ou dans un bras de mer, où se trouve de l'eau douce : car les herbes et les animaux marins ne vivent pas dans cette dernière, et généralement ils se détachent de la carène et tombent naturellement, si le séjour est assez prolongé. On admet comme une règle générale, que tout navire en fer naviguant sur la côte d'Angleterre doit passer au bassin une fois tous les douze mois, s'il reste toujours dans l'eau salée ; et alors la carène sera partiellement couverte de petites coquilles et d'une herbe longue facile à enlever avec un balai roide. Si à l'un des points de départ ou d'arrivée le navire entre dans l'eau douce, il ne sera pas nécessaire de le faire aussi souvent nettoyer. Pour les bâtiments faisant le service de la Méditerranée et de la mer Noire, le passage au bassin est nécessaire tous les six mois, et, pour ceux qui fréquentent les mers de l'Inde, il faut que ce soit tous les quatre mois, si dans l'intervalle ils ne sont pas entrés dans l'eau douce. A. Cursetjée, mécanicien en chef et inspecteur des machines de la compagnie des Indes à Bombay, raconte que le navire à vapeur *l'Indus*, entré au bassin dans ce port, avait des berniques (*barnacles*) épaisses de douze pouces et longues de dix-huit, et il mentionne aussi que toute la carène de la *Némésis* n'était qu'une masse de berniques. Le capitaine Gribbin, surintendant de la compagnie péninsulaire à Bombay depuis plusieurs années, répond en ces termes aux renseignements que je lui demande. « Entre Bombay et la Chine, aucun navire ne peut rester plus de quatre mois sans être examiné. La croissance des herbes et des coquilles commence aussitôt après la sortie du bassin. La carène est d'abord couverte d'une couche très-mince d'une nature végétale sur laquelle l'incrustation s'établit promptement ; cette couche est facilement enlevée par les plongeurs. Pour obtenir la régularité nécessaire pour un service postal, il faut faire passer les navires au bassin tous les quatre mois, et c'est la limite extrême à laquelle il faut les nettoyer et les peindre s'ils appartiennent à la ligne de Bombay en Chine. *Le Pottinger*, navire en fer, parti d'Angle-

terre en février 1847 pour se rendre dans l'Inde par le Cap, a passé au bassin à Bombay en septembre. La carène était très-sale, les berniques étaient par grands groupes et avaient six pouces de long. Pendant la traversée, une seconde couche avait commencé à se former. *Le Pékin* quitta l'Angleterre en février 1847 et entra au bassin à Bombay en octobre; je ne puis comparer sa carène qu'à un rocher qui découvre à mi-marée; les berniques avaient neuf pouces; la seconde couche était complète, avec une végétation de corail d'un groupe à l'autre. La puanteur de la décomposition de toutes ces matières animales était si grande que personne ne pouvait rester à bord pendant la nuit et que les peintures étaient ternies. Quoique *le Pékin* soit un navire rapide, il avait sa vitesse réduite à six nœuds et demi par heure, à cause de l'état de sa carène. J'ai lieu de croire, que le séjour dans l'eau douce pendant quelque temps détruit les animaux marins, qui adhèrent aux navires, et que le frottement de l'eau dans une rivière ou celui exercé par le sillage en mer fait tomber les objets attachés à la carène, quand ils viennent de passer quelque temps dans l'eau douce. Je ne puis établir exactement le temps nécessaire pour produire cet effet, mais ayant envoyé *le Pékin*, *le Malta* et *le Pottinger* à Whampoa pour essayer l'effet de l'eau douce sur eux, il fut trouvé que leur station de trois jours à ce mouillage était insuffisante pour atteindre ce but. » L'expérience du capitaine Gribble, à laquelle on peut ajouter celle des navires de la ligne entre Suez et Calcutta, montre qu'environ huit jours passés dans l'eau douce suffisent pour faire mourir et tomber les animaux marins attachés à la carène. Il n'est donc pas nécessaire de les passer aussi souvent au bassin que ceux de la ligne de Bombay en Chine; car, toutes les fois qu'ils entrent dans l'Hoogly, ils sont presque entièrement nettoyés par l'effet naturel de l'eau douce.

Maintenant il est certain que la rapidité de la croissance des herbes et des animaux sur les carènes en fer ne dépend pas seulement de la latitude, et que, pour des pays situés sur le même parallèle, la saleté des carènes se forme avec plus de rapidité dans les uns que dans les autres. Relativement à ce sujet, le capitaine Gribble dit: « Le port de pointe de Galles et Hong-Kong sont, sous ce rapport, les plus mauvais mouillages que je connaisse. Je ne puis attribuer le défaut du premier de ces ports qu'à sa forme, qui sert de réceptacle aux animaux marins entraînés le long de la côte de Ceylan par le courant portant dans l'ouest. En comparant les tables des mécaniciens, on remarque qu'il y a très-peu de différence dans la densité de l'eau, excepté au commencement des mers de Chine, où elle est plus grande que sur tout autre point du parcours de Bombay en Chine.

« Pensant que quelque antidote à ces dépôts attachés aux carènes pouvait avoir été trouvé par les bateliers des différentes localités, j'ai dirigé mes investigations vers ce sujet; mais je n'ai pu apprendre si quelque moyen avait été découvert par les naturels de l'Est, pour arrêter les progrès de ce mal. » A ce sujet, le capitaine Gribble ajoute: « Le *chunam* et l'huile de coco sont appliqués aux carènes de tous les caboteurs et des bateaux de la côte ouest de l'Inde, du golfe Persique, des détroits, des mers de l'Est et de la côte de Chine: c'est un excellent préservatif, et il demande à être renouvelé une fois ou deux par an, suivant le commerce fait par le navire. Mais c'est contre la perforation des vers dans les carènes, que le cuivre ne protége pas, plutôt que contre les herbes marines, que cet enduit est bon; et il n'y a pas lieu de croire que cette composition qui, par le fait, n'est qu'une sorte de mastic, soit propre à empêcher les tôles de se couvrir de coquilles. » Le capitaine Moresby, de la marine de la Compagnie des Indes, qui a une longue pratique de la navigation des mers orientales, recommandait, il y a quelques années, une composition des naturels propre à empêcher les incrustations, et l'aloès en était le principal ingrédient. » Dans une lettre écrite à ce sujet, le capitaine Moresby s'exprime ainsi: « On cherche généralement un enduit pour les navires en fer, et je n'en connais pas de mieux assorti à ce but qu'une composition médicale, depuis longtemps appliquée par les Persans et les Arabes pour protéger les fonds de leurs dhows et des autres navires contre l'adhésion et, par conséquent, contre la morsure des animaux marins. Cette composition paraît tenir

surtout aux propriétés protectrices de son principal ingrédient, qui est l'aloès, qui, soit par son amertume, soit parce qu'il est un poison direct pour ces animaux, les empêche complétement d'adhérer. Comme ce résultat est très à désirer pour les navires en fer, on pourrait en faire l'essai, et je ne vois pas pourquoi son emploi ne serait pas aussi avantageux dans le cas de ces bâtiments que dans ceux des navires en bois. La formule pour la préparation est comme suit : une once d'aloès mêlé avec de la térébenthine, du suif et de la céruse suffit pour couvrir 2 pieds, et il faut une depense d'environ 12 livres sterling ou 300 francs pour couvrir la carène d'un navire de 50 tonneaux. Comme une simple modification à ce procédé, je recommanderais de mêler à la peinture au minium employée d'habitude, une quantité d'aloès suffisante pour que le mélange ressemble à celui des Arabes. 100 livres d'aloès suffiraient pour la carène d'un navire de 500 tonneaux. » D'après cette recommandation, une composition d'aloès a été appliquée au vapeur *le Ripon*, faisant le service entre Alexandrie et Southampton ; mais il a été observé qu'elle n'avait nullement prévenu les incrustations ordinaires.

Au commencement de l'adoption des navires en fer, il fut trouvé qu'un poison, tel que l'arsenic, mêlé avec la peinture, empêchait pendant quelque temps les incrustations marines; mais après que tout celui de la couche extérieure avait été dissous, il ne restait qu'un enduit dépouillé de son poison, et insoluble lui-même : alors les dépôts d'herbes et d'animaux commençaient à se former aussi rapidement que si l'on n'avait pas employé une peinture empoisonnée. M. Mallet, de Dublin, s'aperçut que pour qu'une couche de peinture empoisonnée conservât ses propriétés pendant longtemps, il fallait qu'elle fût elle-même à peu près aussi soluble que le poison qu'on lui mêlait. Il fit une série d'expériences, qui établirent complétement combien son ingénieuse hypothèse était fondée. Par conséquent, un navire en fer peut être préservé en même temps de l'oxydation et des incrustations par la méthode suivante. En premier lieu, la carène, parfaitement propre et sèche, est couverte avec un vernis protecteur dont l'asphalte est la base, et M. Mallet recommande d'appliquer cette composition avec une spatule, ou une longue bande de corne, plutôt qu'avec une brosse à peindre, parce que celle-ci laisserait de petites bulles d'air. Avant d'appliquer le vernis, il convient de chauffer successivement les différentes parties de la tôle avec un feu de coke découvert, ou par tout autre moyen, dans le but de donner une plus longue durée au vernis. M. Mallet donne la recette suivante :

Prenez 50 livres (22k,67) d'asphalte étranger; fondez-le et faites-le bouillir dans un pot de fer pendant trois ou quatre heures, ajoutant graduellement et en poudre fine 10 livres (7k,254) de minium et de litharge, broyez-les ensemble en proportions égales, avec 10 gallons impériaux (45lit,43) d'huile de lin siccative; portez le tout à la température bouillante. Fondez dans un vase séparé 8 livres (3k,627) de *anime gum* (qui n'a pas besoin d'être de la qualité la plus claire et la meilleure); ajoutez-y 2 gallons impériaux (9lit,086) d'huile de lin siccative bouillante et 12 livres (5k,44) de caoutchouc, adouci ou partiellement dissous dans de la naphte de coal-tar, comme le font les fabricants de toiles imperméables. Mêlez cela avec ce qui est dans le premier vase, et faites-le bouillir jusqu'à ce qu'en prenant de ce vernis entre deux spatules, on trouve qu'il est devenu dur et visqueux; quand il est froid, on peut l'éclaircir avec 30 à 35 gallons (136 à 159 litres) de térébenthine ou de naphte de coal-tar, et dès lors il est prêt à servir. Quand on ne peut avoir de ce vernis, le goudron minéral, appliqué chaud, peut être employé et vant presque autant.

Après l'application d'une bonne couche de ce vernis préservateur, le poison soluble, mêlé à la peinture, est placé sur la carène. M. Mallet recommande de le préparer en prenant une peinture forte et épaisse, composée de minium, de sulfate de baryte et d'huile de lin siccative, et en ajoutant à chaque 100 livres (45k,340) environ, 20 livres (9k,068) d'oxychlorite de cuivre, et trois livres (1k,360) d'un composé de savon jaune, mêlé avec un poids égal de résine et un peu d'eau. Toute la partie immergée du navire doit être couverte de cette pein-

ture par-dessus le vernis, et il faut la laisser durcir pendant trois ou quatre jours avant de remettre le navire à flot. Le sulfure d'arsenic peut être employé, d'après M. Mallet, au lieu de l'oxychlorite de cuivre, et il paraît préférable sous plusieurs rapports, parce que cette préparation de cuivre exerce une influence galvanique sur le fer, et le rongerait dans les parties où le vernis de M. Mallet serait enlevé. Il ne paraît pas que la composition de M. Mallet ait été l'objet d'expériences sur une grande échelle, apparemment, à cause du peu de soin que l'inventeur a pris pour attirer sur elle l'attention du public. Mais quel que soit son mérite absolu, il est probable que, comparativement à toute autre méthode, le principe d'une peinture renfermant un poison partiellement soluble est le seul de ceux encore découverts, sur lequel on doive fonder l'espoir d'empêcher les incrustations d'animaux et d'herbes marines, et il paraît que c'est M. Mallet qui a établi ce principe.

Aussitôt que les voyages des navires en fer s'étendirent à des latitudes où les incrustations se forment assez rapidement pour être une cause sérieuse d'embarras, l'esprit d'invention a cherché des moyens de prévenir ce mal. La plupart des projets ont complétement échoué, comme cela se voit souvent en pareil cas; mais pour parvenir à connaître les qualités respectives des compositions imaginées, la compagnie Péninsulaire et Orientale se décida à les essayer sur un de ses vapeurs en fer, *le Ripon*, en le peignant par parties avec les compositions proposées comme remède, afin d'établir une bonne comparaison de leurs qualités respectives. Voici les noms des inventeurs dont les enduits furent appliqués à la carène du *Ripon*, le 27 janvier 1848 : Lees, Moresby, Clarke, Ince et North, Hayes, Chanter ou Weddersted, Grantham et Parker. Après avoir navigué pendant le temps habituel, le navire rentra au bassin, fut examiné, et on reconnut les faits suivants :

La composition de Lees, aussi sale que le minium, était dure une fois grattée, mais montrait de la rouille en quelques endroits.

Celle de Moresby (aloès et minium) ne pouvait être distinguée, ni pour la couleur, ni pour la propreté, du minium ordinaire.

Le mélange de Clarke, couvert d'incrustations, d'une apparence rouillée, la corrosion pénétrant dans quelques parties.

La composition de Ince et North, avait des berniques et de l'herbe comme sur le minium, mai pas de corrosion : elle était dure une fois grattée et paraissait parfaite.

Celle de Hayes, très-rongée et très-sale.

Celle de Clarke, n° 2, très-sale et rongée.

Celle de Chanter ou Weddersted, sale et très-rongée.

La même n° 2 paraissait propre et sans corrosion, excepté sur la partie arrière des feuilles; mais en frappant avec un marteau, elle tombait par écailles, et montrait que la corrosion avait agi sous la peinture.

La composition de Grantham (1 partie de suif, 2 de résine et 1 de soufre) était sale et très-rongée.

Celle de Parker l'était encore plus; les berniques et l'herbe étaient en plus grande quantité que sur le minium.

Le résultat de cet essai fut de montrer qu'aucune des compositions essayées n'était convenable pour préserver une carène en fer de la corrosion et des incrustations. Depuis on a obtenu un résultat très-différent avec la peinture composée par Peacock, de Southampton, qui a été trouvée entièrement efficace pour prévenir en même temps la saleté et la corrosion des carènes. Cette peinture a surtout la propriété de conserver au fer une surface glissante comme celle du dos d'un poisson, ce qu'on prétend ajouter à la célérité de la marche. Le capitaine Engledue, surintendant de la compagnie Orientale-Péninsulaire, à Southampton, témoigne une très-bonne opinion de cette peinture. Il dit que le premier navire régulièrement enduit de cette composition fut *le Ripon*, le 3 juin 1849; il reçut sur le côté de tribord une couche par-dessus une

autre de la peinture pourpre d'alcali (*potent alkali company's purple brown paint*). L'ancienne couche de minium n'avait pas été enlevée. Le côté de babord fut peint comme de coutume avec deux couches de minium. *Le Ripon* sortit du dock de Southampton le 8 juin, et partit pour Alexandrie le 20. Après son retour, vers la fin de juillet, on trouva que le côté enduit de la couleur de M. Peacock était presque propre, tandis que l'autre était couvert d'une longue herbe épaisse, qui fut enlevée jusqu'à quatre pieds au-dessous de la ligne d'eau. On repeignit cette partie avec du minium. Le navire repartit pour Alexandrie le 20 août, et avant son départ il fut encore reconnu nécessaire de l'incliner et de gratter de nouveau le côté de babord. A son retour, il entra au bassin de Southampton le 4 octobre, et le côté de babord fut encore trouvé couvert d'une longue herbe épaisse et de paquets de berniques; tandis que celui de tribord n'en avait presque pas, quoiqu'il y eût quelques petites berniques çà et là. Ce côté n'avait pas été touché depuis que sa composition avait été mise en juin. Les feuilles des deux côtés furent trouvées tout à fait exemptes d'oxydation. Des observateurs compétents témoignent de l'efficacité de cette composition, dans les Indes occidentales et dans beaucoup d'autres pays où, sans cette précaution, les carènes se couvrent promptement. Il paraît hors de doute que les navires sont préservés d'incrustations pendant six mois, même dans les plus mauvaises eaux, quand ils sont enduits de cette composition.

CORROSION.

L'oxydation est une des principales objections contre l'emploi des navires en fer, et on peut citer beaucoup d'exemples de bâtiments de cette sorte très-rapidement rongés par la rouille. La corrosion de la tôle agit en dehors et en dedans; mais la première n'acquiert une activité inquiétante que si le navire n'est jamais passé au bassin, et si en négligeant de peindre les tôles on laisse les berniques s'accumuler sur la carène. Celle de l'intérieur n'a lieu que si on laisse l'eau s'accumuler dans la cale et qu'on néglige de peindre le dedans. Quand *le Grappler* revint de la côte d'Afrique, les feuilles de tôle du fond des deux côtés, mais surtout à tribord, furent trouvées en si mauvais état, que le navire fut déclaré incapable de continuer son service; mais on n'en serait pas venu à ce point s'il avait été soigné avec l'attention reconnue nécessaire à la conservation des navires en fer dans les climats tropicaux. Il ne serait pas convenable, avec nos ressources si limitées encore, pour empêcher les incrustations, d'envoyer un navire en fer à des stations lointaines dans les températures chaudes, où il serait exposé à rester des années dans l'eau de mer sans avoir les moyens de nettoyer et de repeindre sa carène. Il n'en faut pas davantage pour assurer sa destruction; car il est reconnu que la plupart des coquilles d'attache, et surtout les huîtres, oxydent rapidement le fer, et le fond du navire serait bientôt rongé, si le mal n'est pas arrêté. Quand *le Grappler* revint en Angleterre, on trouva que sa carène n'était qu'une masse compacte de berniques et d'huîtres, et toutes les fois que des navires sont destinés à rester longtemps à la mer ou à séjourner dans les ports d'eau salée des tropiques, sans pouvoir passer au bassin pour se nettoyer et se peindre, le fer est, dans l'état actuel de nos connaissances, une matière qu'il ne convient pas d'employer à la construction des navires, d'autant plus que sa détérioration est accompagnée d'une perte de marche très-notable. Il est également évident que la construction en fer des navires marchands destinés à des voyages dans les tropiques, où il n'y a pas de moyens de passer au bassin, ne doit pas être adoptée dans le présent état de la question. Il paraît certain qu'avec la composition de M. Peacock les navires sont préservés des incrustations et de la corrosion extérieure pendant une période de quatre à six mois; et quand leurs voyages n'excèdent pas cette limite, ou lorsqu'ils sont dirigés vers des pays où il est possible de passer au bassin, il n'y a pas à craindre les inconvénients qui nous occupent. Mais quand il est im-

possible de remplir ces conditions, il est certain que dans l'état présent de nos connaissances, le fer ne saurait être employé. Les incrustations, et la corrosion qui les accompagne, sont réellement le plus grand obstacle à un usage plus répandu du fer pour la navigation commerciale; et quoiqu'on soit parvenu déjà à diminuer beaucoup ces défauts et qu'on arrivera sans doute tôt ou tard à les faire disparaître, néanmoins leur existence indique qu'il est convenable d'employer des navires de bois convenablement doublés en cuivre, toutes les fois que les précautions nécessaires au fer ne peuvent être employées assez fréquemment. Tous les bâtiments en fer ont intérêt à entrer dans une rivière ou dans un courant d'eau douce à la fin de leur voyage, pour faire périr et tomber les incrustations marines et n'être pas forcés de passer aussi souvent au bassin. Les navires de guerre en fer doivent aussi chercher à entrer dans des eaux douces, dans le but de se nettoyer. L'eau qui s'échappe des égouts agit d'une manière très-corrosive sur le fer, et dans quelques rivières on a découvert une action galvanique résultant d'une couche d'eau douce sur une couche d'eau salée, et formant avec le fer une pile voltaïque, qui occasionnait l'oxydation; mais on n'a généralement pu découvrir l'étendue du mal occasionné par cette cause, tant elle est peu énergique. L'eau de la cale et le frottement produit par les cendres et les morceaux de mâchefer ou de charbon qui s'y trouvent, ont quelquefois usé les têtes des rivets. A bord des navires destinés au transport du bétail, la corrosion intérieure est occasionnée par la vapeur condensée de la respiration des animaux, sous les écoutilles; elle est aussi produite par la pluie qui tombe quelquefois lorsqu'on charge ou décharge. Toutefois la corrosion intérieure n'est pas très à redouter, en ce qu'elle est facile à empêcher en tenant le navire sec, propre et bien garni de peinture au minium; aussi on peut dire, qu'en règle générale, l'oxydation intérieure n'est pas à craindre en pratique. Il y a toutefois des sortes de cargaisons très-nuisibles aux navires en fer: telle est surtout celle du guano.

CHALEUR DANS LES PAYS TROPICAUX.

La conductibilité parfaite des tôles formant l'espèce de navire dont il s'agit, porterait à croire qu'ils seraient plus froids dans les climats froids, et plus chauds dans les tropiques que ceux en bois; mais quoique sous ce rapport on ait confirmé qu'il existe une différence, elle n'est pas un sujet de gêne, et peut être regardée comme inappréciable. A ce sujet, le capitaine Gribble dit: La différence entre les constructions en fer et celles en bois, sous le rapport de la température, est presque nulle. Si la chaleur était beaucoup plus grande à bord des premiers qu'à bord des seconds, on s'en apercevrait aux maladies plus fréquentes des hommes de l'équipage; mais d'après mes expériences, ces navires sont presque aussi sains que les autres. A bord des navires ayant une coupée sur le pont, l'air échauffé des chaudières, des cheminées et de la chambre de chauffe arrière entre par les fenêtres des cabines de l'avant de la dunette, et fait souvent attribuer la chaleur à la nature de la construction, tandis qu'elle appartient à la cause qui vient d'être mentionnée. La différence est très-sensible entre *l'Achille* et *le Pékin*: le premier est le navire le plus frais en bas, tandis que, par les raisons détaillées, le second est regardé comme l'un des plus chauds. La véritable raison vient de ce que la principale cause de température plus ou moins élevée, dans les pays chauds, est la manière dont la ventilation intérieure est opérée, et je dois dire, d'après mon expérience, qu'en allant dans l'Inde comme en revenant, j'ai trouvé que sous ce rapport les bâtiments de la compagnie Orientale-Péninsulaire étaient très-mal disposés. Un navire encombré de passagers dans un pays où la température de l'air est 95 degrés de Farenheit (35 degrés centigrades) à l'ombre, et où le gros temps force quelquefois de fermer tous les sabords, exige des moyens plus efficaces de ventilation, que celui d'une manche à vent, qui, dans beaucoup de circonstances, n'est d'aucune utilité, et qu'il faut enlever, s'il survient de la pluie. Il y a lieu de croire que

les causes, qui rendent les navires en fer plus chauds que ceux en bois, doivent aussi leur donner plus d'humidité : car pendant la nuit le rayonnement et la conductibilité des murailles du navire condensent la vapeur de l'intérieur, qui se dépose de toutes parts en rosée, de la même manière que la vapeur d'un salon va se condenser sur les vitres, jusqu'à ce que l'humidité produite coule en eau dans l'intérieur. Les capitaines des navires à vapeur faisant le service d'Holyhead à Dublin, disent qu'ils ne peuvent pas empêcher leurs habits de devenir humides; mais on éprouve le même inconvénient dans les roufles des navires en bois, et on l'éviterait facilement en garnissant l'intérieur d'une couche de feutre fixée à la tôle par de la céruse ou du minium. Dans tous les navires en fer, les cabines sont garnies de bois et sur ceux de la compagnie Péninsulaire-Orientale faisant le service de l'Orient, on n'a pas ressenti la moindre gêne de l'humidité provenant de la condensation intérieure. Le capitaine Gribble dit que cependant il y a une plus grande condensation dans les navires en fer que dans ceux en bois : mais la différence n'est pas assez grande pour qu'on s'en aperçoive en passant, et elle ne demande d'autre remède qu'une bonne ventilation. Cependant à bord d'un navire en fer employé comme clipper entre Calcutta et la Chine, pour le transport de l'opium, la condensation était si grande que l'eau dégouttait au point d'endommager la cargaison. Mais on aurait évité cela en plaçant à l'intérieur des linteaux, pour empêcher la cargaison de toucher la tôle.

ERREURS DES COMPAS.

L'attraction locale des compas à bord des navires en fer fut d'abord regardée comme un des plus sérieux obstacles à leur adoption sur mer; mais cet inconvénient a été si bien écarté qu'il n'en est presque plus question en pratique, et les bâtiments en fer parcourent maintenant toutes les mers du monde avec la même sécurité et la même facilité que ceux en bois. L'attraction locale exerce sa plus grande force lorsque l'aiguille est placée en travers du navire, comme, par exemple, lorsque le cap est à l'ouest ou à l'est; car alors elle a d'autant plus d'influence qu'elle agit avec un levier égal à l'aiguille elle-même, et c'est ce qui a lieu nécessairement lorsque celle-ci fait un angle droit avec l'objet qui attire. Sur quelques navires, l'attraction locale est équilibrée par des aimants, selon la méthode proposée par le professeur Airy; mais cette méthode, quoique très-bonne dans le principe, diminue d'efficacité lorsque les aimants perdent leur force; de sorte qu'après quelques années, elle devient si insuffisante qu'il faut de nouveau corriger les compas. Dans d'autres cas on emploie un compas ordinaire dont les erreurs ont été antérieurement déterminées et portées sur une table, qui porte les directions réelles, qui répondent à toutes celles montrées par le compas, et avec l'aide de cette table le navire peut être bien dirigé; mais cette méthode expose à de fréquentes erreurs, et quelquefois la correction est opérée dans le mauvais sens. On néglige aussi la table de correction en se servant d'une rose inégalement graduée, proposée par le capitaine Sparkes, qui, par les changements dans la graduation, représente l'erreur et corrige ainsi l'influence de l'attraction locale. Des compas avec des roses irrégulières construites par M. Stebbing de Southampton, sont employés sur beaucoup de navires de la compagnie Orientale-Péninsulaire, et ils remplissent leur but dans l'Inde aussi bien qu'en Europe. Avec des compas de cette sorte, il faut veiller à ce que l'habitacle qui les contient ne change pas de position après que les roses ont été construites, et il est également évident qu'il est impossible de prendre les relèvements des objets placés par le travers sans avoir recours à quelques dispositions spéciales. J'ai prié M. Stebbing de Southampton, qui a une grande expérience de la correction des compas à bord des navires en fer, d'avoir la complaisance de me communiquer les résultats de ses observations à ce sujet : il m'a adressé une lettre très-intéressante, et je vais donner un résumé sommaire de ses principales conclusions.

On peut donner aux navires en fer des compas avec lesquels ils sont à même de naviguer aussi sûrement que ceux en bois, et les boussoles de ces derniers ont quelquefois besoin d'être corrigées, à cause de l'attraction de la grande quantité de fer qui se trouve dans la coque et dans le gréement. On a donné généralement la préférence aux compas corrigés par des aimants, mais ils ne sont pas plus exacts que ceux avec des roses inégalement graduées. La méthode de cette dernière rose est très-convenable pour les navires en fer, et elle est même indispensable, si les habitacles sont placés à une petite distance respective. Les tables de corrections appliquées aux compas ordinaires, sont exactes, mais d'un emploi très-gênant, et elles exposent à des erreurs; leurs corrections ne s'appliquent qu'à l'habitacle ou au compas de route, pour lequel on les a faites, et nullement à un compas étalon ou séparé, comme c'est souvent la pratique. Tous les navires en fer faisant de longs trajets doivent avoir une table d'erreurs, pour un compas situé à une place et à une hauteur particulière, parfaitement déterminées et notées sur un livre soigneusement conservé, de manière à ce que, si les compas corrigés et les roses graduées sont emportés par-dessus le bord, on puisse établir un compas temporaire dont les erreurs sont connues. A bord des bâtiments naviguant sur l'Océan, il est convenable d'avoir un compas avec une rose corrigée, et un autre avec des barreaux aimantés. Ceux-ci sont affectés dans leurs indications par le laps du temps, et aussi par un changement dans la position géographique; mais ce n'est pas d'une manière assez forte pour qu'on en tienne compte dans la pratique. Un compas peut être correct dans certaines directions, et ne pas l'être dans d'autres. Les erreurs d'un navire ne sauraient servir de guide pour un autre, et celles de l'une des parties n'ont aucune liaison, et ne servent à rien pour d'autres positions dans le même navire : toutefois les erreurs sont moindres au milieu du bâtiment. Chaque navire en fer est lui-même un aimant, et quelques-uns ont le pôle nord de l'arrière; à bord d'autres c'est le pôle sud. Les pôles ne sont pas toujours dans le plan vertical passant par la quille; mais sur quelques navires, ils vont du bossoir de tribord à la hanche de babord, et dans d'autres, du bossoir de babord à la hanche de tribord. Dans tout navire en fer il y a toujours deux points, qui ne sont pas toujours opposés, auxquels il n'y a pas d'erreur, et il y en a deux autres auxquels l'erreur est à son maximum, et la déviation va de droite à gauche et de gauche à droite, mais pas en suivant une progression arithmétique; de sorte que sur une rangée de cinq points, l'erreur est de trois degrés, et aux cinq points suivants l'erreur peut être de trente degrés.

Telles sont les principales conclusions et les recommandations de M. Stebbing et leur valeur est attestée par le fait que les navires, dont il avait corrigé les compas d'après ces principes, parcourent maintenant toutes les parties du globe et n'éprouvent, à cause de leurs compas, aucune difficulté dans leur navigation. Les boussoles ont réellement cessé d'être maintenant un des dangers des navires en fer, et si la réussite est complète sous le rapport d'une difficulté regardée d'abord comme sérieuse, il y a lieu d'être encouragé à chercher à éloigner les autres, quelque formidables qu'elles nous paraissent actuellement et quelles que soient les imperfections de nos moyens présents pour accomplir les améliorations désirées.

EFFETS DU BOULET.

Le dernier sujet, qu'il me reste à traiter relativement aux navires en fer, est l'effet du boulet sur leur coque, et quoique je comprenne que c'est une des parties les plus importantes de la question, je n'en avoue pas moins qu'il y a beaucoup de personnes plus compétentes que moi pour la traiter. Il y eut une époque où on avait confiance dans les constructions en fer, tant à cause des essais faits sur des feuilles de tôle, que des expériences de *la Némésis* et autres navires de cette sorte employés pendant l'expédition contre la Chine, et on en avait conclu,

ainsi que de quelques autres circonstances du même genre, que les navires en fer supporteraient l'effet du boulet mieux que ceux en bois. Certainement la balance de l'expérience a penché d'un autre côté, et les essais faits depuis quelque temps à Portsmouth montrent très-clairement, d'après mon opinion, que les navires en fer, dans leur état présent, ne conviennent nullement à la guerre. Je passe sur ce qui est arrivé à bord du *Rubis* et à Rio de la Plata, ainsi que sur le Danube pendant la guerre de Hongrie. Le gouvernement français a aussi fait récemment des expériences dont le résultat a été, je crois, une condamnation entière des navires en fer pour la guerre ; mais sans m'arrêter sur toutes ces preuves présentées récemment pour confirmer les mêmes faits, je réduirai mes remarques aux dernières expériences de Portsmouth, telles qu'elles ont été rapportées dans des feuilles publiques.

On a établi dans l'arsenal pour but du tir la représentation des deux côtés d'un navire en fer ayant les dimensions et les solidités de nos plus grands bâtiments; c'était disposé sur la vase à la distance de 460 yards ou 421 mètres du navire *l'Excellent*, et le tir avait lieu à haute mer avec des canons de différents calibres et des charges variées; on se servait également de boulets pleins et d'obüs.

Pendant les intervalles du tir des canots visitaient le but pour examiner les effets de chaque projectile sur la tôle et la membrure. On a remarqué que du côté où le boulet entrait, un trou large et à peu près rond était fait dans la tôle; la circonférence était très-dentelée et l'arête était tournée en dedans. Du côté opposé le trou était plus grand et aussi dentelé; l'arête était rabattue en dehors et quelquefois plusieurs rivets étaient sautés. Quelques boulets, en frappant sur les angles des cornières, étaient brisés en pièces, les fragments passant outre du côté opposé et faisant des trous de formes ainsi que de dimensions différentes. Les obus parurent aussi avoir une action destructive sur les tôles, en produisant des éclats, et les parties d'obus traversaient les feuilles du côté opposé; ce dernier éprouvait toujours plus de dommage que l'autre. Pour reconnaître les effets des éclats dans l'intérieur du navire on avait mis une cloison en planches minces entre les deux murailles en feuilles de tôle. On trouva qu'elle était entièrement percée d'éclats, et elle montra de quelle effrayante manière l'équipage d'un navire en fer souffrirait, surtout quand on considère que les éclats font les blessures les plus dangereuses.

Sir Charles Napier, écrivant au *Times* au sujet de ces expériences, dit : Les éclats du fer étaient très-destructifs et les trous si grands, qu'il ne serait pas possible de les boucher pendant un combat. Mais ce qu'il y a de plus extraordinaire, c'est que presque tous les boulets se brisaient en morceaux : cela éviterait à nos ennemis la dépense de tirer des obus. Un écran de toile à voile était étendu entre les deux parties du but; il était criblé comme un tamis, quelques parties du boulet n'étaient pas plus grandes qu'un ongle.

Je pense que personne ne peut lire ces relations sans acquiescer à la conclusion adoptée, que les navires à vapeur en fer sont, dans leur construction actuelle, tout à fait impropres à la guerre; et si l'on admet cette doctrine, le résultat inévitable est que l'amirauté ne saurait être approuvée, si elle permettait davantage la construction de paquebots de cette sorte destinés au transport des dépêches sur les lignes subventionnées par l'État. L'un des buts principaux de ces paquebots est d'être capables de servir à la guerre si c'était nécessaire; c'est pour cette raison, ainsi que pour les services qu'ils rendent journellement, que de très-fortes sommes sont payées tous les ans aux compagnies pour leur entretien. Mais si les navires pour lesquels de telles subventions sont payées, ne sont pas propres à la guerre, une des raisons importantes de leur établissement cesse d'exister, et il est naturel que des conditions imparfaitement remplies ne soient pas aussi généreusement payées. Par conséquent, la question de l'effet du boulet sur les navires en fer a une grande importance pour la marine commerciale; car il serait très-désirable que tout navire marchand de grande dimension fût en état d'être employé comme bâtiment de guerre dans les circonstances urgentes, et dans leur état actuel les navires en fer

sont loin de pouvoir le faire. Mais comme la cherté toujours croissante des bois de construction pousse inévitablement notre marine marchande à l'adoption du fer, et comme en outre il existe encore un grand nombre de navires de guerre en fer, dont il serait utile de tirer parti, il devient très-important aussi, et en dehors de toutes les raisons alléguées, d'essayer tous les moyens pour faire disparaître, ou du moins pour diminuer, l'effet désastreux du boulet sur les coques en fer. J'avoue que je ne vois aucune manière d'arriver à ce but, qui soit propre à toutes les circonstances. Si, comme on le déduit de la lettre de sir Charles Napier, un boulet en frappant une feuille de tôle se brise en petits morceaux par la percussion, il ne serait pas difficile d'arrêter les éclats; car les petits fragments ont naturellement peu de force d'inertie, et peuvent être arrêtés par une feuille épaisse placée derrière la première. Mais il paraît que ce n'est que lorsque le boulet rencontre une cornière qu'il se brise en morceaux : dans d'autres cas, il traverse directement les deux côtés, et même, quand il se brise, les fragments sont souvent assez gros pour passer à travers le côté opposé, de même que s'ils n'avaient pas été séparés.

Une des manières qui promettent le mieux d'arrêter les éclats, à ce que j'ai entendu dire, est l'application d'une couche d'une matière qu'on appelle kamptulicon, ayant un pied d'épaisseur en dedans du navire. Cette substance est un mélange de liége en poudre et de caoutchouc; elle est collée à la surface du fer au moyen d'un vernis de caoutchouc, et elle est si élastique que quand elle est traversée par un boulet, elle revient sur elle-même; et le trou est si bien bouché, qu'il est impossible d'y introduire le bout d'un rotin, quoiqu'elle ait été traversée par un boulet aussi gros que la tête d'un homme. On croit, par conséquent, que les éclats du fer s'enseveliraient dans le kamptulicon et seraient retenus dans son intérieur jusqu'à une grande distance : de sorte que les plus grands défauts d'un trou dentelé, impossible à tamponner et d'une grande dispersion d'éclats, paraissent pouvoir être presque entièrement évités par l'emploi de cette substance. On n'a pas encore essayé comment elle supporterait l'effet des obus, et l'objection naturelle est qu'il vaut mieux employer du bois dès le principe, que de se servir du fer, pour avoir ensuite à faire la dépense de le couvrir avec cette substance; mais les navires en bois ont eux-mêmes beaucoup d'éclats, et on pourrait trouver que des navires en fer garnis avec une substance qui les arrête et bouche les trous, même les plus grands, seraient d'un usage plus sûr et préférable à celui du bois. Les expériences de ces questions, ainsi que d'autres sur le même objet, sont d'un grand intérêt et il est à espérer que l'amirauté les poursuivra jusqu'à ce qu'elle ait atteint un résultat satisfaisant, ou jusqu'à ce que les difficultés aient prouvé qu'il était impossible de les résoudre. Peut-être trouverait-on plus tard qu'il convient de construire les navires de guerre en fer sans aucune cornière; mais quelles que soient les modifications qu'il convient de faire, ou les nouveaux moyens imaginés pour remédier à ces défauts, il y a tout lieu de croire qu'on ne restera pas longtemps dans l'incertitude, et que des expériences spécialement dirigées vers ce but parviendront à les corriger[1]. Plus de tels essais seraient publics, plus on verrait surgir de remèdes aux défauts découverts, et il paraît probable qu'au milieu d'une multitude de suggestions, on découvrirait enfin quelque chose d'assez utile pour que les navires en fer deviennent propres à la guerre. Toutefois, et jusqu'à ce que la découverte d'un bon procédé soit faite, je pense que chacun doit penser qu'il convient de ne plus construire de navire de cette sorte ni pour la marine militaire, ni pour les paquebots de la poste. Mais la question ne saurait en rester là et il faut, pour satisfaire l'opinion publique, poursuivre des expériences avec la ferme volonté de trouver un remède aux défauts actuels.

---

1. L'expédient qui me promet le plus de succès est de construire les navires avec une section presque triangulaire, et en faisant les côtés doublés, avec une couche d'eau entre les deux tôles. Je crois qu'avec une pareille construction les boulets n'entreraient pas du tout. (Cette note est la traduction du texte anglais.)

Les avantages des navires en fer consistent dans leur plus grande rigidité, l'absence de pourriture et du dégât causé par les rats, les fourmis blanches ou autre vermine; l'accroissement de volume pour la cargaison, un poids de coque moindre : ils sont plus étanches et n'ont pas toujours de l'eau dans leur cale; ne nécessitent pas de fréquents calfatages ou des changements de doublage en cuivre : ils n'ont pas souvent besoin de petites réparations (il faut cependant en excepter la fréquente nécessité de les passer au bassin et de les peindre). Ils ont des cloisons étanches, n'éprouvent pas autant de dommages s'ils échouent sur des bancs ou sur des rochers. En outre, pour un même tonnage, ils coûtent moins cher que ceux en bois. Les navires en fer ont été faits jusqu'à présent avec des ponts en bois; mais il vaudrait beaucoup mieux faire le pont supérieur en fer, de manière à former une sorte de pont tubulaire de Menai fermé aux deux bouts. Le fer pourrait être couvert avec du bois, avec du chunam, ou avec une sorte de mastic ou d'asphalte employé en Chine pour couvrir le pont des navires. Il est certain que par une distribution convenable des matériaux, les navires en fer peuvent être rendus plus forts qu'ils ne l'ont été jusqu'à présent, et le fait seul que le fer est la matière employée, permet de le disposer d'une manière plus utile. Toutefois dans tous les navires, qu'ils soient en bois ou en fer, le mode actuellement adopté n'est nullement propre à réunir la légèreté à la force, et les deux sortes de constructions doivent être considérées comme formant un long tube creux et être rendus aussi solides au pont qu'au fond. Pour les caboteurs et les bateaux de rivières à hélice, qui entrent constamment dans des ports de marée et qui échouent fréquemment, et enfin pour tout ce qui regarde la navigation domestique, la supériorité du fer sur le bois paraît tout à fait reconnue. Mais quand il s'agit de navires à voiles, fréquentant les mers tropicales, où il n'existe pas de facilités de repeindre et de nettoyer la carène, et aussi dans le cas de navires de guerre, le bois convenablement cuivré est préférable. Le temps modifiera certainement ces classifications; car la sphère des navires en fer s'étend rapidement, et quelle que soit la direction que les intérêts d'autres nations adoptent, les nôtres nous montrent clairement le fer comme la matière que nous devons préférer, en supposant qu'il n'y ait pas de difficulté physique à l'employer. De cette manière nous ne craignons pas de concurrence, et en opérant des découvertes dans la fabrication du fer, afin de le rendre moins cher, nous donnerons une impulsion correspondante aux entreprises maritimes, qui finiront par donner de grands bénéfices.

FIN DE L'APPENDICE DE LA PREMIÈRE PARTIE.

DEUXIÈME PARTIE



DEUXIÈME PARTIE.

CHAPITRE PREMIER.

TRACÉ ET CONFECTION DES HÉLICES.

L'auteur anglais, dont nous venons de donner la traduction, s'occupe surtout de l'histoire et de la théorie de l'hélice : il présente beaucoup de faits intéressants et de principes importants tirés des expériences exécutées en Angleterre, et notamment de celles de MM. Bourgois et Moll, à bord du *Pélican*, et il en déduit ce qui est le plus utile à la question des hélices. Il parle succinctement des appareils à vapeur, ainsi que des navires anglais de construction récente, et il en donne quelques plans ; mais il renferme à peine quelques détails sur le propulseur lui-même, et il n'en montre pas de dessin propre à le faire comprendre. M. Bourne semble ainsi s'adresser aux ingénieurs mécaniciens initiés déjà aux détails de l'hélice, et n'ayant à en connaître que les théories et les expériences, plutôt qu'aux marins, souvent appelés à se servir du nouveau propulseur, avant d'avoir eu l'occasion ou le temps de s'en former une idée assez juste, pour apprécier son mode d'action.

Il est cependant nécessaire de connaître la nature des objets dont on se sert : c'est le seul moyen d'en tirer un bon parti, en assortissant leur emploi aux circonstances de la mer et aux ressources du navire; c'est aussi celui de ne pas tomber dans l'embarras, dès qu'un accident fait sortir d'une pratique encore peu établie. On en a eu la preuve lorsque, peu après leur adoption, les machines à vapeur étaient aussi mal entretenues par les mécaniciens qu'elles étaient mal employées par les capitaines : à chaque traversée elles éprouvaient des avaries et nécessitaient de longues réparations ; leurs chaudières, encombrées de sel, étaient promptement rongées par l'action du feu. Chaque coup de vent détraquait ces appareils, plutôt à cause de leur direction

que d'une mauvaise confection, et les navires à voiles allaient à la recherche de ceux à vapeur. Tout cela est heureusement changé, et les rôles sont presque renversés, grâce à l'expérience acquise. Il y a donc dans l'emploi de toute chose un commencement d'incertitude et de tâtonnement, qui ne cesse que lorsque la pratique amène à familiariser beaucoup de personnes avec ces objets nouveaux. La conduite, et même l'entretien des appareils à vapeur, ont fait de grands progrès; mais il est loin d'en être de même de leur emploi. Il est rare de chercher à ménager ce moyen, si énergique mais si dispendieux, d'imprimer de la vitesse aux navires; et cependant ce devrait être l'étude du marin, ne fût-ce que pour ménager les fatigues de son équipage et les ressources très-restreintes qu'il possède dans ses soutes.

Comme le rôle de l'hélice se borne à la propulsion, il ne présente pas la même variété que celui de la machine motrice, dont les conditions de marche sont aussi nombreuses que compliquées. Cependant les qualités et les défauts du nouveau propulseur diffèrent de ceux de la roue à aubes, et entraînent naturellement à modifier la manière de s'en servir. Il ne convient donc pas de naviguer sur un navire à hélice comme sur celui à roues, et de disposer le bâtiment et sa voilure de la même manière. M. Bourne a fait sentir l'importance des formes très-fines à l'arrière, et tous les constructeurs éclairés avaient déjà adopté des poupes beaucoup plus effilées que celles des navires à roues; mais il ne s'occupe pas de la voilure d'une manière pratique; et c'est cependant un des objets les plus importants, puisque l'abandon des roues et de leurs volumineux tambours a permis de faire un usage beaucoup plus étendu des voiles. Le navire à roues avait perdu en grande partie les anciennes qualités de celui à voiles; sa machine étant son moteur principal, il avait amené à ne considérer le vent que comme un auxiliaire utile, mais dont il était très-commode de se passer. Aussi combien de traversées ont-elles été effectuées avec les vergues brassées carré, sans songer seulement qu'il y avait une brise favorable ou contraire, et qu'il était possible de faciliter la marche ou de diminuer un peu l'obstacle. Cependant les expériences de la *Medea* avaient montré, à l'étonnement général, qu'un navire à vapeur à roues navigue, et même évolue assez bien pour suivre les escadres sans chauffer. Mais le navire mixte a poussé ces avantages plus loin; il a conservé toute l'ancienne voilure, et possède ainsi deux moteurs aussi utilement disposés l'un que l'autre. Il ne doit donc pas chauffer régulièrement comme l'ancien paque-

bot à roues, mais n'employer sa machine que suivant les circonstances et avec d'autant plus de tact, que sa provision de combustible est nécessairement très-restreinte, puisqu'il a encore presque tout son ancien armement et son approvisionnement.

Il résulte de ces nouvelles conditions, que la manière de naviguer n'est plus la même sur le navire à hélice que sur celui à roues ou sur le bâtiment à voiles : et comme on n'a pas fait de recherches à ce sujet, j'ai cru qu'il serait utile de tenter d'établir quel est le mode de navigation des navires à hélice, en se basant en même temps sur les propriétés de leur propulseur et sur le meilleur emploi de leur voilure. Je regrette, toutefois, d'avoir été éloigné des navires de cette sorte, et de ne pouvoir établir sur une expérience directe la manière dont je pense qu'ils doivent être dirigés; aussi je n'ose émettre mes idées que parce qu'aucun marin ne s'est encore livré à ce genre de recherches. C'est ce qui m'a engagé à faire suivre l'ouvrage anglais de divers documents pratiques, ainsi que de détails relatifs aux hélices, aux manières dont elles sont disposées à bord, et dont on les a récemment modifiées. Cette seconde partie renferme aussi la description et les dessins des appareils à hélice récemment exécutés en France, les détails de la machine à vapeurs combinées de M. du Trembley, ainsi que quelques notes sur la machine à air chaud du capitaine Ericsson et sur les nouvelles chaudières à vapeur de M. Isoard et de M. Belleville. Il se présente tous les jours tant de nouveautés industrielles, qui se rattachent à la navigation par la vapeur, que chaque publication, bien que destinée à un objet spécial, se trouve entraînée à profiter de son apparition pour rendre compte de ce qui intéresse le sujet traité, de manière à tenir au courant de la progression continuelle des inventions opérées dans la marine, comme dans tous les autres arts industriels.

Outre ce qui regarde le propulseur, je me suis attaché à décrire en détail les nouvelles machines motrices, afin de les faire connaître avec la précision nécessaire. Car il faut que le marin soit initié à son appareil moteur aussi bien qu'aux autres parties du navire, afin de s'en servir avec discernement ou d'en réparer au besoin les avaries. Ces connaissances sont encore plus utiles à bord du navire mixte, dont la navigation est moins limitée, et qui est aussi exposé à des accidents dans les environs de Taïti que dans le voisinage des côtes de France. Presque toujours éloigné des arsenaux, l'homme de mer ne possède que les faibles ressources de quelques outils à main, et d'un petit nombre d'ouvriers

n'ayant souvent que peu d'habitude du travail. Il n'en est que plus nécessaire qu'il trouve en lui, et dans les hommes qui l'entourent, assez d'activité et d'esprit de ressource pour réparer ses accidents. Les roues à aubes, formées de nombreuses pièces de petites dimensions et assez grossièrement assemblées, n'offraient aucune difficulté à cet égard; mais l'extrême simplicité de forme et de construction de l'hélice en présente au contraire de très-grandes, et même elle rendrait peut-être toute réparation impossible, si les ailes perdues n'avaient pas laissé assez de longueur de bras pour permettre d'y fixer des surfaces hélicoïdales. En fait de réparation d'hélice opérée à la mer, je n'ai eu connaissance que de celle d'un bâtiment de guerre anglais : une des ailes fut cassée, mais il resta une portion du bras, longue de 14 pouces anglais, sur laquelle le mécanicien réussit en vingt jours à installer une aile en tôle. Une réparation d'hélice n'est donc pas impossible, et des mécaniciens ingénieux ont exécuté des travaux assez considérables en ce genre, dans des appareils à roues à aubes, pour qu'il y ait lieu de croire qu'au besoin non-seulement on referait les parties cassées, mais même qu'on parviendrait à fondre une hélice, avec le peu de moyens d'exécution des pays éloignés des arsenaux.

La navigation implique l'isolement et la privation des ressources extérieures : elle force donc à ne compter que sur soi, et pour arriver à le faire avec confiance, il faut non-seulement être préparé aux accidents de toute nature, mais connaître la forme du moteur qu'on emploie, et surtout ce que d'autres marins ou mécaniciens ont déjà su inventer pour sortir d'embarras. C'est ce qui m'a déjà porté, dans un autre ouvrage pratique, à fournir des documents précis sur un grand nombre d'avaries, et sur la manière dont elles avaient été réparées, ou dont il serait possible de le faire avec les ressources limitées du bâtiment. J'ai cherché aussi à indiquer les moyens de sortir promptement d'embarras, lorsque des organes importants n'agissent plus, et de marcher aussitôt après un accident, en utilisant ce qui reste intact. Comme, sauf des détails de dispositions, les machines à vapeur se ressemblent, qu'elles soient employées à tourner des roues ou des hélices, je ne répéterai ici aucun de ces détails, et prierai ceux qu'ils intéresseraient d'avoir recours au *Catéchisme du mécanicien à vapeur*, où ils les trouveront réunis. Je vais donc me borner à la description de l'hélice et de la manière de la construire, pour détailler ensuite ce qui a été entrepris en Angleterre et en France, depuis la publication de l'ouvrage de

M. Bourne, et compléter jusqu'au moment actuel ce qui se rattache à cet objet important.

Les marins ont pressenti, dès le principe, les avantages de l'hélice sur la roue, et comme ils employaient cette dernière par tous les temps, ils en connaissaient les défauts. Aussi le voyage du capitaine Chappel, autour de la Grande-Bretagne, leur fit mieux apprécier le nouveau propulseur que des publications ou des rapports de commission, et bientôt l'hélice attira l'attention générale et fut étudiée avec plus de soin. En France, ce fut d'abord par M. Labrousse, alors lieutenant de vaisseau, qui, en 1843, adressa au ministre de la marine un rapport remarquable par la juste appréciation des avantages du nouveau propulseur : il l'accompagna d'une traduction de l'appendice à l'ouvrage de Tredgold, par M. Galloway, au sujet de l'hélice, et lui ajouta des notes, des calculs, et un projet de corvette à hélice. Ces divers documents forment le premier corps d'ouvrage que nous ayons possédé sur les propulseurs sous-marins, et il sera toujours très-utile de les consulter. M. Labrousse proposait des essais comparatifs de diverses hélices à bord du *Pélican*, où ils furent exécutés plus tard par MM. Bourgois et Moll, d'une manière assez parfaite pour servir de règle générale, et pour former, comme on l'a vu, la partie théorique de l'ouvrage de M. Bourne. Une fois sur la voie d'une bonne analyse des propriétés du nouveau propulseur, on a fait des expériences plus précises, et chaque nouveau navire permettant d'apprécier des qualités ou des défauts, a conduit à de nouveaux perfectionnements.

GENRE D'ACTION DE L'HÉLICE.

La position sous-marine de l'hélice empêche d'apprécier son action d'une manière aussi distincte que celle des aubes de nos anciennes roues : elle ne laisse rien voir, et il faut se reporter à sa forme ainsi qu'à son mouvement pour comprendre comment elle pousse le navire. Nous connaissons assez les effets de la godille et ceux du vent sur les voiles orientées au plus près, pour comprendre qu'une action oblique parvient à produire une impulsion directe. Ce que la godille a fait dans un sens et puis dans l'autre, l'aile d'une hélice le produit sur toute sa rotation, ou, si on veut, elle agit comme la godille, en sens inverse, à chaque extrémité d'un même diamètre. Comme son mouvement est continu, il en résulte que son impulsion est uniforme, au lieu d'être une suite de

petites saccades comme celles des aubes à leur entrée successive dans l'eau.

L'aspect de l'hélice est maintenant trop connu pour qu'il soit nécessaire de la décrire, et sa comparaison avec la vis est loin d'en donner clairement l'idée; nous avons tous vu ce propulseur dans les arsenaux, ou placé dans le trou du massif arrière, lorsque les navires sont échoués dans un bassin : et son inspection, lorsqu'il est ainsi découvert, apprend d'une manière générale son mode d'action, mieux que ne le feraient de longues descriptions. On voit d'un coup d'œil comment ces ailes tournantes repoussent l'eau et renversent pour ainsi dire l'action du moulin à vent. Car à part leur surface moindre, puisqu'elles agissent dans un fluide plus dense, elles offrent exactement la forme gauchie suivant une héliçoïde, qu'on remarque sur les longues ailes des moulins. Si celles-ci présentent pour ainsi dire un plus près constant, au lieu d'être alternatif comme celui de nos voiles, quand nous louvoyons; l'hélice est de son côté une godille continue, et l'un n'est pas plus difficile à comprendre que l'autre. Quelle que soit sa forme, elle tire son pouvoir propulsif de lames obliques ou ailes fixées snr un axe parallèle à la quille, et qui forment des filets ou des portions de filets d'hélice ou de spirale, de sorte qu'en tournant elles se frayent un chemin à travers l'eau, comme la vis ordinaire le fait dans le bois. A cela près, cependant, que cette dernière agissant sur un corps résistant ne perd en rien de la longueur, dont elle avance en tournant; tandis que la première ne trouvant qu'un appui imparfait contre l'eau, qu'elle repousse comme la pelle de l'aviron ou l'aube de l'ancienne roue, ne fait parcourir au navire qu'une longueur moindre que celle qui aurait été due au développement de ses tours. C'est la quantité dont l'eau cède, et on a déjà vu qu'elle se nomme recul, et qu'elle fait perdre une partie de la force transmise par l'arbre. Car, une fois produite, il faut que cette force se dépense entièrement : seulement nous n'avons presque jamais la possibilité de le faire tout à fait à notre profit, et beaucoup de causes naturelles, telles que le frottement et l'inertie, en absorbent en pure perte une quantité notable.

Le frottement serait la seule cause de perte pour l'hélice, si, comme on vient de le voir, l'eau ne cédait pas à son impulsion; mais comme ce liquide n'a presque pas de cohésion, que la plus petite impulsion le dérange et le sépare, il en résulte qu'il ne présente guère que son inertie pour point d'appui des propulseurs. S'il n'en était pas ainsi, toute la force serait utilisée, comme lorsqu'on tire à la cordelle; et pour se faire une idée de cette

perte, il n'y a qu'à considérer ce qui se passe lorsque le navire est amarré, tandis que le propulseur tourne. On voit bien qu'alors la force est totalement perdue, puisque son but est de faire avancer le navire, et que celui-ci reste immobile. Il en serait de même si, au lieu d'être des amarres, c'était un vent violent qni réduisît le navire à l'immobilité. Cette force est donc uniquement dépensée à vaincre l'inertie de l'eau, à la remuer. Mais entre cette perte totale et l'utilisation complète de la force qui serait obtenue si l'eau ne cédait pas, il est facile de comprendre qu'il y a des rapports différents; cette perte, qui était totale quand on était immobile, devient partielle quand le navire marche, et est représentée par la différence entre le chemin développé par le propulseur et celui parcouru réellement par le navire. Cette différence est la vitesse avec laquelle l'eau a été repoussée, et son rapport au chemin que l'hélice eût fait dans un écrou solide constitue le recul comme pour les roues à aubes. Il s'exprime ordinairement en proportion du chemin développé par l'hélice: ainsi, quand celle-ci eût fait parcourir 10 milles dans un écrou solide, et que le vaisseau en a réellement fait 8, on dit que le recul est de 20 pour 100; on le représente aussi quelquefois par la longueur inutilement parcourue par le propulseur: ainsi ce serait 2 milles par heure de recul pour le cas qui nous occupe. On comprend combien il y a de variations dans le recul, puisque l'obstacle d'un vent debout l'augmente, et qn'au contraire l'aide des voiles avec une brise favorable le diminue et l'amène quelquefois à être négatif, c'est-à-dire à ce que l'hélice marche moins vite que le navire: elle offre alors un phénomène singulier, c'est celui d'exercer néanmoins une impulsion. Ces diverses propriétés sont trop détaillées dans le cours de la traduction du texte anglais pour qu'il soit utile de les répéter ici. Voy. page 52.

De même que les autres propulseurs, l'hélice ne trouve de point d'appui qu'en raison de sa surface; mais comme au lieu d'agir perpendiculairement à son plan, elle le fait d'une manière oblique, il en résulte que sa vitesse d'impulsion ne dépend pas seulement de son rayon et de sa rotation, comme pour les aubes, mais aussi de son angle. Car si celui-ci était nul, elle ne ferait pas plus aller de l'avant, que s'il était de 90 degrés: dans le premier cas, elle se bornerait à couper l'eau, et dans le second, elle la ferait tourner autour de son axe. Il y a donc une relation entre le rayon et l'angle: c'est ce qni constitue le pas, c'est-à-dire la quantité dont l'hélice avance dans un tour; c'est comme un escalier gothique plus ou moins roide. Il y en a aussi une entre sa surface et son

rayon; car puisque l'hélice n'a d'appui que l'eau, il faut qu'elle agisse sur la plus grande masse possible de cette dernière; et puisqu'elle tourne pour ainsi dire dans un cylindre, cette masse dépendra de celle de ce dernier, c'est-à-dire du rayon de l'hélice. Il arriverait de la sorte qu'une hélice très-étroite et d'un grand rayon trouverait un meilleur appui dans l'eau que celle d'une plus petite dimension, mais d'ailes larges et de surfaces égales aux premières; en ce que les ailes étroites, agissant sur une plus grande masse, trouvent toujours devant elles des parties fixes et inertes, tandis que les secondes en rencontrent de voisines de celles déjà en mouvement, et qui ne résistent plus autant. Il y a cependant à considérer ici l'obstacle éprouvé par l'arête des ailes en coupant l'eau, lequel s'accroît dans un plus grand rapport que la longueur des ailes; et cette longueur exige aussi plus de force et par conséquent d'épaisseur.

Enfin il faut encore apprécier l'étendue de la surface des ailes relativement à l'effort à produire; c'est-à-dire à la force de la machine, par rapport à la résistance du navire; car si cette surface est trop faible, elle séparera pour ainsi dire le liquide au lieu de s'appuyer sur lui, et ce sera elle qui avancera dans l'eau plus que le navire. Il en est dans ce cas de l'hélice comme d'une roue dont les aubes sont trop petites. Ces conditions si variées ont rendu l'étude de l'hélice extrêmement difficile, et font encore mieux reconnaître tout le mérite et l'utilité des expériences de MM. Bourgois et Moll.

Les différentes portions de la surface de ce propulseur sont loin d'agir de la même manière sur l'eau. Comme toutes ont un pas à peu près égal, il en résulte que les plus voisines de l'axe font un angle beaucoup plus petit avec cette ligne que celles situées vers la circonférence : c'est comme l'escalier gothique dont la montée est plus roide vers le centre qu'au bout des marches. Si une partie de la surface fait un angle de 45 degrés, elle aura une action égale pour pousser l'eau dans le sens de la quille et dans la direction perpendiculaire. Dans toutes les parties de l'hélice où cet angle sera plus petit, c'est-à-dire dans le voisinage de l'axe, l'eau sera projetée par le travers plutôt que vers l'arrière. Au contraire, dans les portions où l'angle devient plus grand, c'est-à-dire vers les bords des ailes, l'impulsion se fera plutôt dans le sens de la quille que par le travers, et aura une influence beaucoup plus favorable sur la marche du navire. Par conséquent, la base des ailes et leur jonction à l'arbre ne fait presque pas avancer; elle éprouve du frottement, entraîne l'eau et la fait tourner autour de l'axe; tandis que ce sont réellement les ailes et surtout-

leur extrémité qui poussent utilement. C'est ce qui leur a fait donner beaucoup plus de surface vers les bords extérieurs, qu'en se rapprochant du centre, où elles sont réduites à la largeur nécessaire pour les relier solidement à l'arbre, et où leur courbure héliçoïdale les fait avancer dans l'eau sans faire perdre de force, plutôt qu'elle ne produit une impulsion utile. Cette variété d'effets suivant l'éloignement de l'axe rend impossible la détermination du centre d'action des ailes, comme celui des aubes, et d'après les propriétés de la vis, c'est moins important que pour les roues. Quand on observe la manière dont l'eau est repoussée à l'arrière d'un navire à hélice, on est étonné qu'elle soit aussi peu soulevée, tandis que les roues à aubes fixes portent constamment sur l'arrière une masse d'eau assez considérable, et qui s'élève jusqu'au tambour. Cela est dû à ce que les ailes agissent dans toutes les directions, tandis qu'elles ne le font chacune qu'un instant pour faire gonfler l'eau à la surface, et l'eau est poussée suivant chacun des rayons du cercle décrit de manière à tourner pour ainsi dire en faisant une spirale, au lieu d'être soulevée par chaque aile comme par une aube. En outre, l'hélice rencontre toujours de nouvelle eau, si on peut s'exprimer ainsi; elle trouve donc de l'inertie à vaincre et de quoi s'appuyer; tandis qu'une fois emprisonnée entre deux aubes, l'eau est entraînée avec toute la vitesse de la roue, et ne possédant plus d'inertie au moment de la sortie de l'aube, elle suit naturellement le mouvement général, jusqu'à ce qu'enlevée en l'air, elle déborde par les côtés de l'aube pour retomber, et faire ainsi perdre toute la force employée à la soulever.

TRACÉ DE L'HÉLICE.

Après avoir examiné la manière dont l'hélice agit sur l'eau, il importe de savoir comment on arrive en pratique à produire cette surface d'une apparence compliquée et tout à fait différente de celles employées d'habitude. Pour cela il suffit de se rappeler que cette courbe, se trouvant décrite sur un cylindre, peut être développée avec celui-ci. Or, l'hélice parcourt la surface d'un cylindre en faisant toujours le même angle avec les génératrices, c'est-à-dire avec les parallèles à l'axe de ce cylindre. Par conséquent, si on déroule celui-ci sur un plan, les génératrices seront des parallèles; et puisque l'hélice fait le même angle avec elles toutes, elle sera nécessairement représentée par une ligne droite,

qui fera un angle avec celle qui exprime la base du cylindre, et qui, au bout d'une révolution complète, formera un triangle rectangle, dont le petit côté sera la quantité dont l'hélice a avancé suivant l'axe, c'est-à-dire le pas, tandis que l'hypoténuse sera l'hélice développée. On aura pour ainsi dire de la sorte une rampe droite à la place de l'escalier tournant, et on montera de la même hauteur par les deux moyens. En résumé, pour produire une hélice, il suffira do prendre le cylindre et la courbe développés, et représentés par exemple au moyen d'un papier découpé en triangle, de manière à ce que l'un des côtés de l'angle droit soit le développement du cercle de la base du cylindre, que l'autre soit le pas et le dernier l'hypoténuse ou l'hélice développée; puis, collant ce papier sur le cylindre, on a naturellement la courbe tracée à sa surface.

L'hélice n'est pas toujours uniforme, elle peut avoir un pas qui augmente ou diminue à mesure qu'elle avance; alors son développement ne serait plus une ligne droite, mais une courbe ayant cette sorte d'avance du pas : et par conséquent pour décrire une pareille hélice, on tracerait sur le papier la courbe qui exprime la croissance du pas, et on la collerait de même sur le cylindre.

Un tel procédé n'offre pas l'exactitude nécessaire, à cause des dilatations inégales du papier mouillé par la colle, et des différences de contraction qu'il éprouve en séchant; mais on le remplace par un tracé graphique très-simple. Pour cela, ayant le cylindro destiné à recevoir ce tracé, on divise ses deux bases en un certain nombre d'arcs égaux, et pour s'assurer que les divisions d'un bout s'accordent avec celles de l'autre, on y applique des règles dépassant le bord du cylindre, et on les dégauchit de manière à voir si elles coïncident. Cela fait, on joint les divisions par des lignes qui se trouvent toutes parallèles à l'axe; alors on décrit sur une planche un triangle représentant l'hélice développée comme il a été dit, et on divise le côté de l'angle droit représentant la base du cylindre développé en longueurs égales aux arcs de cercle; on mène des perpendiculaires jusqu'à l'hélice développée, qu'elle soit courbe ou droite. Puis prenant au compas la distance du bas de la première division, à la ligne de l'hélice développée, on la porte sur la première division du cylindre; on opère de même pour la seconde, et on obtient ainsi une série de points représentant l'hélice tracée sur le cylindre.

Mais l'hélice propulsive n'est pas une ligne, c'est une surface héliçoïdale, et ce qui vient d'être dit n'en donne pas encore l'idée : or, cette surface est engendrée par une ligne qui, en faisant toujours le même

angle avec l'axe, parcourt l'hélice tracée sur la surface cylindrique. Celle-ci se nomme la directrice, tandis que la ligne mobile prend le nom de génératrice; elle est droite ou courbe, et fait un angle oblique ou se trouve d'équerre avec l'axe. On comprend d'après cela quelle variété infinie de surfaces héliçoïdales il est possible de produire. Mais d'après sa définition, la surface héliçoïdale est toujours celle d'un escalier en colimaçon, dont les marches sont égales ou croissantes, si le pas n'est pas régulier, et dont ces mêmes marches sont droites ou courbes, suivant la forme de la génératrice. Supposant ces marches infiniment petites, et se confondant entre elles, on arrive à la courbure continue et gauche de l'héliçoïde, c'est-à-dire à la forme de toutes les hélices propulsives, et on se base sur ces principes pour en faire les modèles ou les moules.

Dans toutes les hélices actuelles on n'emploie pour chaque aile qu'une portion de la surface dont il vient d'être question, et pour éviter de tracer la courbe entière, on ne prend que la partie du développement du cylindre, c'est-à-dire du triangle rectangle qui répond à l'étendue adoptée, pour la tracer de la même manière sur la partie de cylindre qui lui correspond. Cette variété de formes et de proportions de l'hélice pourrait faire croire qu'il est très-difficile d'en produire exactement la surface en métal : mais la pratique a trouvé des moyens ingénieux d'y parvenir, et ils sont de deux sortes : le premier consiste à découper le sable à mouler, le second à construire un modèle en bois pour le mouler comme à l'ordinaire. Je vais les détailler l'un et l'autre.

MOULAGE D'UNE HÉLICE AVEC LA PLANCHE A TROUSSER.

Pour opérer de la première manière, on découpe une feuille de tôle en lui donnant la forme d'un triangle rectangle, ayant pour ses côtés la fraction de pas et celle du contour du cylindre adoptés pour une aile, et on la courbe avec soin, suivant un cercle, puis on la fixe solidement sur le sol par des équerres. Il y a autant de ces feuilles que d'ailes, ou de fractions de filets d'héliçoïde : on les raccorde toutes avec le centre, ainsi qu'entre elles, de manière à conserver leurs distances respectives, en comparant entre eux les points les plus bas et les plus élevés. Il résulte de ce qui a été dit précédemment, que la partie supérieure de ces tôles présente la directrice de chacune des hélices. Alors pour mouler le propulseur au milieu de ces tôles courbées, on fait autant de règles en

fonte qu'il y a d'ailes, en leur donnant un peu plus de longueur que le rayon de l'hélice, et en ayant soin qu'elles soient dans le même plan et qu'elles fassent des angles égaux. Ces règles sont réunies à un fort noyau central percé perpendiculairement à leur plan, elles sont en outre fortifiées par des nervures pour éviter toute chance de déformation. Au centre des feuilles de tôle, c'est-à-dire du cylindre sur lequel la courbe est décrite, on plante verticalement un axe en fer tourné, sur lequel on emmanche le noyau des règles, de manière à ce qu'elles glissent ou tournent sur cet axe en lui restant toujours exactement perpendiculaires. Alors l'intérieur des tôles est rempli de sable à mouler; et en faisant tourner les règles, tout en les maintenant appuyées sur le bord des tôles courbées, on découpe ou trique le sable suivant la surface d'une hélice; car ces règles sont réellement les génératrices de la surface héliçoïdale, puisqu'elles suivent la courbure de l'hélice tracée sur le cylindre en restant perpendiculaires à l'axe. Le moule est séché à l'étuve; sa surface, qui est exactement celle d'un héliçoïde, est saupoudrée de sable sec, et couverte ensuite d'une couche de terre glaise, qu'on découpe de la même manière au moyen de règles, et en conservant dans les différentes parties les épaisseurs jugées convenables pour obtenir assez de solidité. Une fois cette sorte d'hélice en terre glaise terminée, on la sèche à l'étuve, et on la saupoudre de sable; puis, plaçant au-dessus le contre-châssis, elle est moulée comme un modèle ordinaire : une fois cette seconde partie du moule séchée, on l'enlève pour détacher l'espèce d'hélice en terre glaise, qu'on a faite pour occuper la place habituelle du modèle, et on se trouve alors avoir un vide semblable à ce que l'hélice doit être en plein; on est donc dans les conditions ordinaires du moulage. Naturellement on a pris toutes les précautions ordinaires pour soutenir le sable par des tiges de fer et des clous à épingle, et pour conserver la coulée ainsi que les évents.

Dans l'usine de M. Nillus, au Havre, on a conservé directement l'espace nécessaire à l'épaisseur du métal, en plaçant près du bord des règles en fonte une autre règle en bois, qui déborde la première de quantités égales aux épaisseurs adoptées, et qui par conséquent s'en éloigne plus vers le centre que vers la circonférence, afin que les ailes soient plus fortes à leur naissance qu'à leur extrémité. On arrondit toutes ces courbes et on les raccorde avec l'arbre d'une manière convenable.

On comprend facilement que cette méthode s'applique à toutes les formes

d'hélice : ainsi avec une directrice courbe produisant un pas croissant, la tôle est découpée suivant la courbure de cette directrice, à partir de la partie du pas où on veut que l'accroissement se fasse sentir. S'il s'agit d'une génératrice courbe, comme celles employées pour résister à l'action centrifuge des ailes, il n'y a qu'à donner aux règles la courbure déterminée; et si ces deux moyens sont combinés, ils se trouvent naturellement exécutés par chacune des parties, qui produit une des conditions de la forme de l'hélice : la tôle courbée pour la directrice ou le pas, et la règle pour la génératrice ou la forme.

CONFECTION D'UN MODÈLE D'HÉLICE.

On a aussi moulé des hélices avec des modèles en bois, construits de la manière la plus simple par M. Paul, alors directeur des travaux de l'usine de M. Nillus. On y est arrivé en prenant pour type les escaliers gothiques et en se servant de règles exactement égales d'épaisseur, et d'une largeur au moins le double de la première dimension, pour le cas ordinaire de nos hélices. On réunit à une pièce ronde, représentant le noyau de l'hélice, autant de ces règles qu'il doit y avoir d'ailes, en leur donnant entre elles les angles convenables, et en les coupant de la longueur du rayon du propulseur projeté. On en prend un nombre suffisant pour produire la fraction de pas que doit avoir chaque aile. Ce nombre indique en combien de parties on doit diviser la fraction de la circonférence que comprend une aile. Du centre de l'hélice on décrit sur les règles un cercle avec un rayon égal à celui de la vis; puis on porte vers l'extrémité des arcs ainsi tracés, une longueur égale aux divisions de l'arc de cercle partagé en autant de parties qu'il y a de règles, ou, autrement dit, à la fraction de pas de chaque règle. Une fois ces points marqués, on place le bord de chaque règle en contact du point de celle placée en dessous, en débordant vers la droite ou vers la gauche, suivant que la vis a l'une ou l'autre de ces directions. Dès que l'une d'elles est ainsi posée relativement à la précédente, on la fixe par des vis à bois et de la colle, pour procéder de la même manière sur la suivante. Il est facile de comprendre qu'on obtient ainsi une surface en étages ou en gradins, dont toutes les arêtes ou les creux appartiennent à une hélice, et qu'elles ont le pas voulu, puisqu'on les a fait glisser l'une par rapport à l'autre de la quantité qui répond à la fraction de pas que chaque règle représente. Une fois cette opération terminée, on abat les

arêtes jusqu'à l'angle de jonction; alors la surface devient continue et régulière : on la diminue vers les bords pour arrondir les angles, et on l'évide vers le centre de manière à dégager les bras, pour avoir la forme actuellement adoptée. Ce procédé est d'une exécution facile, mais il n'a pas toujours l'exactitude du précédent, en ce que le modèle le plus parfait, exécuté avec du bois très-sec, est sujet à jouer et à se déformer lorsqu'il est enterré dans le sable humide, surtout lorsqu'il a aussi peu d'épaisseur relativement à sa grande étendue. Il se prête moins que le précédent aux variétés des formes de l'hélice ; car, pour une directrice courbe, il faudrait donner à toutes les règles la courbure voulue, et il deviendrait difficile de les faire bien coïncider. Mais il n'en est pas de même du pas croissant qui est naturellement déterminé en étageant diversement les règles, d'après les différentes longueurs relativement au plan horizontal, tracées avec la directrice développée comme on l'a vu précédemment. La figure de ce genre de modèle n'a pas été portée dans cet ouvrage, parce qu'elle est représentée sur la planche VI du *Dictionnaire de marine à vapeur*, et aussi à cause de son analogie avec la méthode dont il va être question.

Dans les ateliers de M. Mazeline, on préfère employer un modèle en bois, pour éviter les erreurs sur les épaisseurs de la première manière dont j'ai parlé : mais on moule toutes les ailes avec le même modèle, comme on va le voir par le détail de toutes les opérations. Si, par exemple, l'hélice à exécuter se trouve avoir quatre ailes, on commence par mener par l'axe deux plans perpendiculaires l'un à l'autre *ab* et *cd* (fig. 6, pl. IX), passant par le milieu de l'angle formé entre deux ailes, de manière à diviser le cylindre du moyeu en quatre parties égales portant chacune une aile ; et pour donner un nom à cette partie, on peut l'appeler un segment d'hélice. Si le propulseur avait un nombre différent d'ailes, 2, 3 ou 5 par exemple, le cylindre eût été partagé en 2, 3 ou 5 parties : ainsi, la première opération consiste à partager l'hélice en autant de segments égaux qu'il doit y avoir d'ailes, et à ne faire à la fois que le modèle d'un seul segment, pour réunir ensuite tous les moules.

Pour exécuter le modèle d'un segment, on commence par dresser un grand panneau en bois, sur lequel on trace deux circonférences concentriques, l'une ayant le diamètre du moyeu, l'autre celui de l'extérieur des ailes. S'il y en a quatre, chaque segment renferme le quart du moyeu et par conséquent on divise les cercles tracés en quatre parties

égales au moyen de deux perpendiculaires. On débite ensuite une pièce de bois ayant exactement la forme d'un quart de cylindre et le rayon *oa* du moyeu à sa partie la plus forte, et on la place sur le secteur *boa* de la plate-forme dressée; alors on trace l'hélice *ef* (fig. 7) sur sa surface par le procédé que j'ai indiqué page 284, c'est-à-dire par la division du cylindre au moyen de lignes parallèles à l'axe et par les distances de la directrice, courbe ou droite, portée sur chacune de ces lignes et sur le développement de la base. On a soin que la courbe ainsi tracée corresponde à la face postérieure, c'est-à-dire à celle qui donne l'impulsion au navire : cette ligne représente plus tard l'intersection de la surface poussante du propulseur avec celle du moyeu. On trace ensuite sur le cylindre l'intersection de l'autre face de l'hélice *gh* avec le moyeu : celle-ci n'est plus une hélice, parce que sa distance de la première représente l'épaisseur de la naissance de l'aile, et comme il y a plus de métal au milieu que sur les bords, les deux lignes ne sauraient être parallèles; aussi cette dernière serait courbe si elle était développée. Le quart de cylindre ainsi tracé présente l'aspect de la fig. 7 (pl. IX). Cela fait, on creuse entre ces deux lignes une mortaise qui s'enfonce dans le bois jusqu'à environ la moitié du rayon (fig. 8) du quart de cylindre primitif, qui est celui de la circonférence minimum du moyeu une fois que son extrémité est arrondie. On verra bientôt le motif de cette précaution. Cela terminé, on enlève de la plate-forme cette partie préparée et on la remplace par un autre quart de cylindre en bois sur lequel on trace la même hélice que sur le premier et qu'on place d'une manière identique; puis on enlève toute la partie du quart de cylindre qui est au-dessus de cette hélice, et en obtient une portion de cylindre ayant la forme représentée sur la fig. 7, qu'on colle sur le segment du plateau, ou qu'on y fixe par des vis à bois.

On fait ensuite un cylindre en bois *rk* (fig. 6) de 3 à 4 centimètres d'épaisseur, d'un diamètre extérieur égal à OR et d'une hauteur *ij* égale à la longueur des ailes du propulseur parallèlement à l'axe. On trace sur sa surface extérieure une hélice du même pas que le propulseur projeté. Puis on enlève tout le bois au-dessus de cette hélice et on fixe le fragment de cylindre en *rk* sur le panneau. Cette fraction de cylindre en bois remplace celle en tôle dont j'avais d'abord parlé.

On fait alors débiter une série de planchettes de 1 centimètre environ d'épaisseur, ayant toutes exactement la même forme et les mêmes dimensions; elles sont plus larges du côté destiné à toucher le moyeu

(fig. 12) qu'à l'autre extrémité, et elles sont légèrement creusées près du point *m*, où doit se former le congé du raccord entre la surface héliçoïdale postérieure et le moyeu. Une fois toutes ces planchettes prêtes et rabotées, on les dispose les unes sur les autres en escalier tournant, avec le petit bout appuyé sur le cylindre découpé en hélice *rk* fixé au panneau et le point *f* sur l'hélice tracée sur le quart de cylindre *oab*. On les colle avec soin les unes aux autres et on obtient un solide ayant la forme de la figure 9 et de celle 13 dessinée sur une plus grande échelle. On comprend qu'il faut que les planchettes soient assez larges pour qu'en abattant leurs angles elles conservent encore une épaisseur égale à celle que doit avoir le propulseur; les parties *m m'* et *n n'* servent à former le tenon destiné à s'introduire dans la mortaise *efgh*, pour réunir l'aile à la partie correspondante du moyeu et former le segment d'hélice. Lorsque la colle est sèche, on enlève le solide formé par les planchettes et on débite les deux extrémités avec des ciseaux et des rabots fins jusqu'à ce qu'elles s'appliquent exactement contre l'hélice *kr*, à un bout, et contre *ef* sur le moyeu à la partie formant l'intersection de sa surface avec celle de ce dernier. Dans cette position, la face antérieure du propulseur est tournée vers le panneau et la face postérieure est en dessus. Sur les deux hélices ainsi obtenues sur l'aile, on trace aisément des points correspondants à une même génératrice et assez rapprochés entre eux.

Cela exécuté, on achève de travailler la surface au rabot fin et au ciseau jusqu'à ce qu'une règle taillée suivant la forme droite ou courbe adoptée pour la génératrice, s'applique exactement sur cette surface lorsqu'elle passe par les deux points correspondants de l'hélice intérieure et de l'hélice extérieure de l'aile. Il ne reste plus alors pour terminer le modèle qu'à tailler le tenon en tâtonnant jusqu'à ce qu'il entre dans la mortaise *efgh* du quart de moyeu, et à coller un congé convenable sur l'angle *ef* formé par l'intersection de la surface de l'hélice avec celle du moyeu. On voit que ce procédé se prête aux génératrices ou aux directrices courbes, employées séparément ou conjointement pour produire à la fois une hélice courbe et à pas croissant : comme à bord du vaisseau *le Napoléon*.

Les différentes épaisseurs à donner au métal des ailes se déterminent par une section AB suivant un rayon qui divise l'aile en deux (fig. 5, pl. IX), et par d'autres sections *cdefg* perpendiculaires à la première et montrant la courbure de la surface de l'aile du côté opposé à la face qui repousse l'eau : celle-ci ayant la forme de la génératrice, qu'elle soit

droite ou courbe. Vers l'axe ces sections prennent la forme de celles des lentilles, afin de donner plus de force au bras portant l'ailo. Pour avoir le poids approché du métal nécessaire, on calcule le solide par ces différentes sections et par le cylindre du moyeu, en estimant à peu près ce qu'il faut pour les raccordements et on vérifie par le poids du modèle en bois, dont on défalque celui des vis et dont on détermine par expérience la pesanteur spécifique relativement au métal employé.

La pratique a établi maintenant les proportions à donner aux diverses parties des hélices ; mais en général elle n'a pas donné assez d'épaisseur à la base des ailes, et c'est au point de leur réunion à l'arbre qu'ont eu lieu presque toutes leurs ruptures. Il serait à souhaiter qu'on donnât plus de force à cette partie, afin de reporter au moins à $0^m,30$ de l'arbre les chances de brisure, pour qu'en cas d'avarie on trouve une surface suffisante pour établir une aile en tôle, an lieu d'être forcé de chercher un appui sur l'arbre lui-même, ce qui serait quelquefois impossible. Lorsque la surface héliçoïdale se continue jusqu'à l'arbre sans être découpée sur les bords comme on le voit pl. XIII, elle présente uno étendue plate, très-utile pour établir une aile de fortune sans être forcé de gauchir la tôle, comme pour l'appliquer sur un bras arrondi. Du reste, lorsqu'on démonte l'hélice, le meilleur est d'en avoir une de rechange dans la cale : le prix très-élevé de cette pièce est la seule objection à faire contre une telle précaution, et si un navire s'éloigne pour longtemps, cette raison disparaît devant l'importance de l'objet.

Pour exécuter le moulage d'une hélice, on opère séparément sur chaque segment dans une caisse ou châssis à base triangulaire $p\ p'\ q$ (fig. 6, 10 et 11) dont le fond est mobile ; on remplit de sable grossièrement tassé la partie *tsp'*, seulement pour soutenir le modèle, ensuite on met les petites planchettes *i* et *s*, et on a soin de faire porter les joues ou parties planes du moyeu contre les côtés *qv* et *qv'* de la caisse : on remplit de sable battu tont le vide *psi*, où on a placé des armatures de moulage suffisamment solides, pour donner assez de cohérence au sable. On retourne ensuite la caisse, on bat de la même manière le sable qui remplit *psi*, et on obtient ainsi les deux portions du moule d'un segment, qu'on a soin de sécher à l'étuve. On procède d'une manière semblable pour les autres segments, en se servant toujours du même modèle, et quand on a les quatre moules, on les place à leurs positions respectives, comme on le voit sur la figure 6, dans un trou pratiqué dans le sol de la fonderie; le fond de ce creux est parfaitement plat pour que les segments soient dans le même

plan. On consolide le trou par des planches enfouies dans la terre et on remplit de sable tassé tous les intervalles des quatres moules. Puis on met le noyau *o* destiné à conserver le trou pour le passage de l'arbre, on charge le moule et il est prêt à recevoir la coulée. Il est bien entendu que pour chaque moule, on a conservé des évents : la coulée commune est par l'axe de l'hélice. Après l'avoir sortie du sable de son moule, on régularise sa surface s'il y a lieu et on la polit, même lorsqu'elle est en bronze, afin de diminuer les pertes de force dues au frottement dans l'eau.

Il serait, je crois, possible de corriger d'une manière mécanique la surface agissante d'une hélice, en la plaçant sur le grand plateau d'une machine à planer, ou tour en l'air, tel qu'il y en a dans les ateliers, et en donnant à ce plateau un mouvement régulier de va-et-vient circulaire par une bielle disposée suivant les localités; alors l'outil placé sur un chariot de manière à découper la surface, serait conduit par une vis et des engrenages comme dans le tour à fileter. Pour des hélices à pas uniforme et à génératrice droite, le problème n'est autre que celui des vis; il s'agit seulement de l'exécuter sur une très-grande échelle. Je suis persuadé que l'importance des hélices amènera quelques modifications dans les outils existants et leur fera rigoureusement produire toutes les surfaces du genre de celles employées pour cette sorte de propulseur. Les ateliers renferment des outils qui ont été certainement plus difficiles à concevoir et à exécuter. Seulement il est à craindre qu'en se refroidissant l'hélice ne se déforme au point qu'il y ait trop de métal à enlever et que les épaisseurs ne soient plus régulières.

On a fait dans l'origine des hélices en fer forgé, elles étaient d'une exécution assez difficile et d'une forme moins exacte que celles en fonte. Les premières étaient formées de lattes en fer forgé, ayant au milieu un renflement pour laisser un passage à l'arbre et disposées entre elles comme les règles dont nous venons de parler : à cela près qu'au lieu de rester en contact elles étaient suffisamment éloignées l'une de l'autre au moyen d'un surcroît d'épaisseur du noyau et de sa latte à sa base. Ces sortes de bras étaient tordus de manière à se trouver dans le plan de l'hélice, et ils étaient réunis par des triangles de tôle gauchis en les jetant rouges dans un moule en fonte ayant la forme du propulseur. Ces feuilles étaient rivées sur les lattes et les recouvraient des deux côtés de manière à former une surface continue amincie sur les bords.

Dans le cas d'une avarie, il serait probablement possible de confec-

tionner une hélice de cette sorte avec les moyens du bord, lorsque ses dimensions ne seraient pas trop considérables, et même de parvenir à en faire de très-grandes dans les pays présentant quelques ressources industrielles. Cette idée première servirait de guide pour opérer une réparation lorsqu'il reste les bras ou une partie des ailes. Si on unit du fer à du bronze, ou si on emploie le premier de ces métaux sur un navire doublé en cuivre, il ne faut laisser le propulseur dans l'eau que lorsqu'il fonctionne, afin que la rouille activée par le contact du cuivre et de l'eau salée ne le ronge pas rapidement. Chez M. Cavé on a exécuté des hélices entièrement en fer forgé en étirant et élargissant leurs ailes au marteau, jusqu'à ce qu'elles aient l'étendue et le peu d'épaisseur nécessaires; de tels tours de force sont très-dispendieux, et s'ils font obtenir plus de légèreté que la fonte, ils ne présentent pas des surfaces aussi exactes et leurs produits sont exposés à une détérioration plus rapide.

Il est, je crois, possible de vérifier une surface en hélice, et par suite, de la corriger quelquefois au moyen de la fausse équerre, en la dégauchissant comme font les charpentiers, pour découper les pièces gauches de la membrure et du bordé. Ainsi, en traçant sur la surface de l'aile une ligne qui la partage en deux, et lui menant des perpendiculaires, on y placerait une des branches de la fausse équerre, pour dégauchir l'autre par une règle appuyée sur la partie tournée du moyeu, qui est perpendiculaire à l'axe. L'angle des branches sera celui de l'hélice avec l'axe dans la partie où on a posé l'équerre : il sera facile de le rapporter sur le papier, et avec sa distance au centre, de reconstruire le triangle rectangle qui exprime le développement de l'hélice. Ce triangle donne naturellement le pas. Si la directrice est droite, on trouvera le même pas aux différents points, quoique les angles avec l'axe diminuent à mesure qu'on s'en rapproche, et on aura ainsi les changements du pas. Si la génératrice est droite, on appliquera une règle sur la surface de l'aile, dans la direction perpendiculaire à l'axe : si elle ne l'est pas, c'est dans ce sens, et en se rapportant à une règle qu'on reconnaîtra son degré de courbure. Ces procédés suffisants pour une réparation faite à bord ne seraient peut-être pas assez exacts pour vérifier la forme des hélices, et c'est pourtant une des observations intéressantes de la recette des machines, tant pour vérifier s'il y a eu des erreurs, que pour reconnaître si on a donné des proportions différentes, pour déguiser des défauts de l'appareil. Ainsi, dans le cas où la chaudière est insuffisante, on augmenterait le pas pour donner un moins grand nombre

de coups de piston. Comme on pourrait se trouver dans le cas de faire une pareille vérification, j'indiquerai la manière d'opérer que m'a communiquée M. de Lissignol, ingénieur civil au Havre. Pour cela, il suffit d'avoir une aile et l'un des bouts tournés plats du moyeu. Alors on place l'hélice avec son axe vertical sur un plan bien dressé, de manière qu'il soit perpendiculaire à ce dernier, puis on prend une équerre qu'on promène, de manière que le côté vertical touche toujours le bord AB de l'aile, et que le côté horizontal reste sur le plan dressé, on marque les diverses positions du sommet de l'équerre, et en joignant tous ces points, on a l'arc de cercle qui représente la projection de l'hélice directrice. Le diamètre s'obtient en joignant un de ces points au centre; connaissant la projection α de la portion de l'hélice AB, et la hauteur h du point B au-dessus du plan horizontal, on détermine le pas par la proportion suivante : Pas : h :: circonférence extérieure de l'hélice : α, d'où le pas $= \frac{h \times \text{la circonférence extérieure de l'hélice}}{\alpha}$. Si on soupçonnait que la directrice de l'hélice n'est pas droite, c'est-à-dire, si on croit que le pas est variable, on diviserait l'arc AB en parties égales, et avec l'équerre on marquerait la projection de chaque division sur le plan horizontal et en opérant pour tous ces points comme pour ceux situés aux extrémités, tels que AB, on aura le pas pour chaque partie, et par conséquent les variations qu'il éprouve d'une extrémité de l'hélice à l'autre.

A l'article *Hélice* du *Dictionnaire de marine à vapeur*, on trouverait le détail d'une autre manière de déterminer la courbure d'une hélice et d'en faire le tracé. L'une des figures portées sur les planches de cet ouvrage sert à rendre la description assez claire, pour que je croie inutile de la répéter ici.

Il est important que les hélices soient formées d'un métal très-solide, tant pour éviter des avaries dangereuses, que pour permettre de diminuer le poids considérable suspendu dans la partie du navire qui, ne déplaçant pas d'eau, ne se trouve pas soutenue. Aussi, en Angleterre, il se fonde des ateliers pour la fabrication spéciale des propulseurs, et il en résultera nécessairement des améliorations. On emploie maintenant des alliages nouveaux, qui ont plus de force que les anciens, il y en a de formés de $\frac{2}{3}$ d'une fonte spéciale anglaise, et de $\frac{1}{3}$ de collé de fonte et fer forgé mélangés par le procédé Stirling. On attribue à ces alliages une résistance à la rupture plus grande que celle de la fonte ordinaire,

dans le rapport de 30 à 50. Le même M. Stirling a des procédés pour de nouveanx mélanges pour les coussinets et les hélices en bronze, et obtient ainsi un métal d'un grain extrêmement fin, et d'une force remarquable. Il serait à souhaiter que ces questions fussent étudiées en France et surtout qu'une usine entreprît de se livrer spécialement à la confection d'un objet aussi important et d'un usage tous les jours plus fréquent; on acquerrait ainsi une perfection dont n'approcheront jamais des confections séparées et naturellement moins bien dirigées.

Jusqu'à présent, les hélices ont été d'un seul jet de fonte, et quand on n'a pas cherché à modifier la position de leurs ailes par un mécanisme, on les a faites d'une seule pièce, excepté quelquefois, dans le cas où il y avait quatre ailes, et où les deux opposées étaient réunies et clavetées sur l'arbre par leur moyeu. On a proposé de disposer les ailes de manière à les démonter pour changer celle qui serait brisée; pour cela les quatre bases ont été réunies par des plateaux dont les rebords formaient une tête conique, serrée par des boulons, perçant les deux anneaux opposés, et la base des ailes. Ce moyeu n'eût pas été aussi solide qu'une seule coulée, il eût ajouté du poids dans une partie où on ne saurait trop en épargner, et surtout il n'aurait pas rempli son but, en ce que si l'hélice se démonte, elle n'a que deux ailes, et il est facile d'en avoir une de rechange; tandis que si elle est à quatre ailes, il n'y a pas de puits, il faut alors rallier un port où se trouve un bassin de radoub. Ce n'est pas le cas d'y ramener une hélice qu'on a longtemps transportée, mieux vaut en exécuter une autre; un passage au bassin en laissera presque toujours le temps.

CONDITIONS GÉNÉRALES POUR LA NAVIGATION.

Le nombre des ailes est loin d'avoir l'influence que la différence d'aspect des hélices semblerait faire croire, suivant qu'il y en a deux, trois, quatre, cinq et même six. Dès que la surface est suffisante, il importe peu qu'elle soit plus ou moins divisée, et dès lors, les convenances d'installation commandent le choix de deux ailes, quand il y a nécessité de démonter, et d'un plus grand nombre quand l'hélice restant toujours en bas, permet de diminuer ainsi l'étendue de la cage découpée dans le massif d'étambot. S'il ne fallait pas une épaisseur notable pour donner la force nécessaire aux ailes, leur division en lames étroites serait avantageuse: mais dès que les arêtes coupantes ne sont pas très-aiguës, leur nombre

devient une cause d'obstacle. Cet effet nuisible est d'autant plus sensible que le pas est plus court, et que par conséquent la rotation est plus rapide, pour développer le même chemin. Aussi on se sert, par cette raison, des hélices à deux ailes, quoiqu'elles ne se démontent pas, et c'est dans le cas où leur pas a moins d'une fois et un tiers le diamètre; tandis que si l'hélice a plus de deux fois ce même diamètre, il faut au moins quatre ailes, et six est le nombre le plus convenable. Les premières conviennent à la grande navigation, surtout lorsque l'appareil moteur ne joue que le rôle d'auxiliaire : elles sont aussi assorties au cabotage, en ce qu'elles permettent des appareils légers à mouvement prompt; au lieu que les six ailes sont appropriées aux sillages rapides, qui forcent à l'emploi de grands pas.

A part les utilisations qui, d'après les expériences de M. Bourgois, varient peu, suivant que les pas sont grands ou petits, ces rapports des éléments de l'hélice ont des avantages ou des inconvénients pratiques. Les petits pas entraînant à une rotation plus rapide, éprouvent plus de perte par les arêtes coupantes et par le frottement des ailes. Mais ils ébranlent beaucoup moins l'arrière du navire, et permettent de donner plus de légèreté aux ailes, et surtout aux arbres. En effet, plus le plan des ailes se rapproche de la perpendiculaire à l'axe; moins la rotation est difficile à obtenir, et moins est grand l'effort éprouvé par l'arbre. On aurait beaucoup plus de peine avec un tournevis à enfoncer une vis à grand pas qu'à petit pas. Il en résulte donc que les hélices à filet raccourci chargent beaucoup moins l'arrière des navires, et c'est une considération très-importante. Elles les tourmentent moins aussi, en ce que leurs ailes rejettent davantage l'eau vers l'arrière, et ne la projettent pas autant sur l'étambot. Si elles éprouvent des différences d'action suivant leur immersion, ce n'est guère que dans le sens de l'axe, et si comme d'usage, les manivelles sont calées à angle droit, et les bielles sont très-courtes; elles ne font pas autant ressentir ces changements d'effort dans le sens perpendiculaire au navire. Il en résulte donc des avantages notables et qui mériteraient probablement quelques sacrifices mécaniques, tels que l'accélération encore plus grande du piston, ou parfois l'emploi des engrenages : le poids de ces derniers étant aussi bien placé dans le navire, que celui de l'hélice et de son arbre, l'est d'une façon fatigante pour la charpente. Les grands pas permettent de faire tourner l'arbre moins vite, et par conséquent, d'adopter des machines directes et d'une légèreté très-remarquable, ils ont la même utilisation

que les petits, mais conviennent moins pour lutter contre des obstacles. Sous le rapport purement mécanique, ils sont préférables, mais sous le point de vue marin, ils ont des défauts sérieux, en ce qu'ils exigent des hélices et surtout des arbres plus solides et plus lourds, parce que l'effort, pour faire tourner, est à peu près comme le sinus de l'angle des ailes avec l'axe. Elles chargent donc l'arrière affaibli par le puits, et d'autant plus privé de soutien que les façons sont plus fines, et que la nécessité d'éloigner l'étambot a fait ajouter à la longueur de l'arrière, qui surplombe le navire. Si donc les grands pas conviennent aux mécaniciens, et leur facilitent la solution du problème en le rendant plus simple, on pourrait presque dire que les petits vont mieux aux navires; et peut-être le peu de durée des arrières des vaisseaux montrera-il un jour qu'il faut faire plus de sacrifices mécaniques, et ménager davantage la charpente déjà surchargée d'artillerie.

Quoiqu'il y ait peu d'années que l'hélice ait été réellement appliquée à la navigation, elle a été le sujet de nombreuses inventions, et la nomenclature de l'ouvrage de M. Bourne en est la preuve. La réussite de l'hélice à ailes étroites perpendiculaires à l'axe, et quelquefois évidées vers le centre, pour reporter la plus grande surface vers l'extrémité des ailes, n'a pas encore arrêté l'esprit d'invention et de nouvelles formes sont proposées, soit pour obtenir de meilleurs résultats de vitesse, soit pour remplir des conditions particulières, telles que les variations du pas et la facilité de soustraire les ailes à l'action de l'eau, en marchant à la voile.

Aucune de ces inventions récentes n'a donné des résultats assez satisfaisants pour entraîner à son adoption, quoique, dans le principe, quelques-unes aient été prônées. Parmi ces dernières, il y en a deux qui ont quelque temps attiré l'attention en Angleterre, mais que l'expérience a depuis fait abandonner, ce sont l'hélice Griffith, et celle nommée *Boomerang propeller*.

HÉLICE GRIFFITH.

M. Robert Griffith, du Havre, prit une patente pour cette nouvelle hélice le 13 septembre 1849. Ce fut lui qui émit l'idée de déterminer la force de l'impulsion aux différents points des ailes, en y suspendant de petites boules attachées à des ressorts pour indiquer les pressions exercées (voir pages 18 et 19). Sa principale invention consistait à mettre autour de l'arbre une boule destinée à renfermer un mécanisme propre à faire chan-

ger l'angle des ailes, et même à les mettre dans le plan du navire (fig. 28 et 29, pl. IX). Voici ce mécanisme : *a* est l'arbre du propulseur, sur lequel est fixé un renflement ou moyeu *b*, percé par des douilles pour recevoir les extrémités des tiges qui portent les ailes *c* et *c*, et qui ont sur le côté des saillies *d d* ou leviers destinés à tourner les tiges, et par suite les ailes, de manière à changer leurs angles avec l'arbre ; *e* est une demi-sphère unie à la douille *h*, qui glisse le long de l'arbre et agit sur les leviers *d d* pour tourner les ailes. Tout ce mécanisme est renfermé dans un globe *g*, d'une forme sphérique, ou de toute autre appropriée à son but. Le levier *i*, a son point fixe *i'* sur le navire, et au moyen d'une tige *j*, il est uni à un ressort plat en lames d'acier *k*. D'après cette disposition, on comprend qu'en faisant glisser la douille *h* le long de l'arbre, les ailes propulsives *cc* tournent de manière à faire un angle plus ou moins grand avec l'axe. Lorsque, par une cause quelconque, l'hélice tournera avec plus de rapidité, l'accroissement de résistance du côté de l'arête coupante poussera le ressort *k*, au moyen de la tige *j* et du levier *i* fixé au point *i'* dans le navire ; il laissera ainsi augmenter le pas et par conséquent la résistance du propulseur, et modérera la vitesse de la machine. Comme il n'est pas avantageux d'avoir un pas qui se règle de lui-même, on a voulu le changer à volonté, et on a remplacé le ressort par un mécanisme de leviers. Le but principal était de marcher facilement à la voile en mettant les ailes dans le plan de la quille, et des paquebots de la compagnie générale Screw-steam Shipping, destinés à de longs trajets, ont d'abord adopté ce système pour profiter des bons vents ; mais ils ont éprouvé de fréquentes avaries et ont fini par abandonner cette hélice. On comprend facilement combien les mécanismes compliqués sont exposés dans des parties entraînées par un mouvement rapide, exposés à des efforts considérables ainsi qu'à des chocs fréquents, et surtout placés de manière à ne pouvoir être ni visités ni réparés.

On a été jusqu'à prétendre que la grosse boule placée autour de l'arbre et dont le diamètre était un tiers de celui de l'hélice, exerçait une influence utile, qu'elle empêchait les secousses et remplaçait avec avantage la base des bras des hélices, à laquelle on attribuait une perte d'un tiers de la puissance. A bord de *la Fairy*, on a fait des expériences avec l'hélice ordinaire entourée d'une boule en bois du diamètre de celle de Griffith ; les résultats ont été un peu défavorables, et leur différence est si petite, qu'elle prouve que les parties centrales n'ont pas d'influence sensible. On a dit aussi que l'hélice ordinaire faisait plon-

ger les navires par l'avant, et que celle-ci ne produisait pas le même effet. Aucune de ces assertions n'a été confirmée par l'expérience. Des hélices de cette sorte ont été confectionnées de manière à ne point changer les angles de leurs ailes, parce qu'on prétendait que leur forme était plus avantageuse, et que les angles des bouts de l'aile devaient être coupés (fig. 38), pour diminuer la surface flottante (mais on rétrécissait d'autant la surface agissante la plus utile). Des expériences ont été faites en rognant successivement les coins, comme on le voit en ponctué sur la figure 36, et elles n'ont donné aucun résultat, non plus que les changements de pas, qui, en accélérant trop la rotation, ont augmenté la consommation du combustible jusque dans le rapport de 29 à 43. C'est surtout à bord du yacht *la Fairy* qu'on a essayé cette hélice, et en voici les principaux résultats :

	Hélice Griffith.					Hélice ordinaire.		
Pas en mètres......	2,287	2,440	2,594	2,745	2,897	3,050	3,660	2,407
Nombre de tours....	43 ¾	44 ¼	39 ½	37 ½	35 ½	36 ¼	29	39
Vitesses en nœuds...	12,8	12,7	12,5	12,5	12,4	12,3	11,6	12,4

D'après ces chiffres, le meilleur résultat de l'hélice Griffith donne 0,4 nœuds de plus, mais c'est au prix d'une rotation plus rapide de 10 pour 100 et d'une consommation proportionnelle de combustible. On fait pour *la Fairy* une nouvelle hélice ordinaire qui donnera peut-être les mêmes résultats que celle de Griffith.

On a essayé l'hélice de Griffith à bord du vaisseau *l'Agamemnon*, dans le but de connaître son effet avec toute espèce de pas, et surtout de vérifier si elle cause moins de trémitation à l'arrière. Son arbre s'est brisé, et ses ailes, projetées avec violence, ont arraché ce qui les contenait et brisé une partie des pièces de charpente avec un craquement terrible, qui a retenti dans tout le navire. La machine a été arrêtée, et le vaisseau est rentré à la remorque.

PROPULSEUR BOOMERANG.

Le propulseur boomerang a tiré son nom d'une arme des naturels de l'Australie, formée d'une lame de bois courbe et en même temps un peu gauchie, dont le centre de gravité est en dehors de la bande. Elle se lance en amenant vivement la main contre la hanche, et semble tourner en spirale : entre les mains des habitants, elle atteint à une grande distance et avec assez de précision pour servir à la chasse. Comme propul-

seur, le boomerang se trouve être une portion assez minime d'une hélice, découpée de manière que sa projection sur le plan perpendiculaire à l'axe ait à peu près la forme d'une courbe un peu moins large au milieu qu'aux deux bouts. Pour se faire une idée du tracé de ce propulseur, il faut se figurer un escalier en limaçon et sa projection horizontale. Sur le centre de celle-ci on trace deux arcs de cercle coupant le même diamètre et venant aboutir à la circonférence. Leurs extrémités deviennent des lignes droites, partant d'un même point, et la figure est disposée de telle sorte que la somme des surfaces des extrémités situées d'un côté du diamètre est égale à celle de la partie du milieu située de l'autre côté, c'est-à-dire que ce diamètre passe par ce qui représente le centre de gravité de cette figure. En la rapportant à l'escalier en limaçon, on a le tracé du propulseur dont l'aspect est celui de la figure 31 (pl. IX); et comme il ne passe pas par l'axe de rotation, il lui est lié par deux petits bras. Tel était le propulseur que son inventeur, M. le lieutenant-colonel sir T. Mitchell, a essayé à Sydney sur un petit bateau, au moyen de deux hommes. L'aspect seul de la figure montre combien elle offre une disposition peu solide, et quelle dimension elle exigerait pour la cage de l'hélice. Aussi a-t-il fallu la modifier et la dénaturer pour parvenir à l'employer. Elle eut d'abord la forme représentée fig. 32 (pl. IX), et le lieutenant-colonel Mitchell regarde comme un de ses avantages d'avoir une aile *a* produisant une action centripète, tandis que l'autre *b* en a une centrifuge, la première agissant sur l'eau avec une surface concave et la seconde lui en présentant une convexe. Il observe qu'aucun autre propulseur n'a cette propriété; mais il reste à savoir si elle offre quelque avantage : car en tournant les ailes n'agissent pas sur la même eau, pour la renvoyer de l'une vers l'autre, et s'il est bon de la projeter vers l'axe, pourquoi ne pas le faire avec les deux ailes? Enfin, pour corriger le défaut d'exiger une trop grande cage, on lui a donné la forme de la figure 33, qui ne diffère guère de celle des autres hélices qu'en ce que l'une des ailes est dirigée vers l'avant et l'autre vers l'arrière. Des expériences de ce propulseur ont été faites à bord du *Conflict*, à Portsmouth : le vrai boomerang, employé d'abord, s'est brisé au premier essai ; celui modifié (fig. 33, pl. IX) qui par le fait ne diffère plus des surfaces hélicoïdales habituellement usitées, a été essayé sur le même navire, et malgré les éloges de quelques publications, il n'a pas donné de meilleurs résultats que les hélices ordinaires. Aussi est-il probable qu'on y a renoncé définitivement, et le grand espace nécessaire à

son mouvement est un défaut assez important pour empêcher son adoption. D'ailleurs il n'y a vraiment pas lieu de se préoccuper d'inventions dont les résultats ne peuvent réellement produire des avantages notables relativement à ce qui existe. Ainsi on a des hélices qui utilisent les 0,7 de la force et impriment au navire les 0,88 de la vitesse maximum donnée par la théorie. Il ne reste donc presque rien à gagner en utilisation, et ce sont plutôt des formes assorties aux diverses conditions de la navigation qu'il convient de rechercher, surtout pour les vaisseaux de guerre destinés à démonter leur hélice pour marcher à la voile.

HÉLICE DE M. MAUDSLAY.

D'autres inventeurs ont cherché à rendre ce démontage inutile, en rendant les ailes mobiles par rapport à l'arbre qui les entraîne, et en les plaçant dans le plan de la quille pour marcher à la voile. Ce mouvement devait aussi être utilisé en marche pour changer les angles, et par conséquent varier le pas suivant les circonstances de la navigation, c'est-à-dire l'augmenter avec un vent favorable et le diminuer avec vent debout. La propriété de marcher toujours presque aussi vite, quelles que soient les circonstances de la navigation, a rendu cette précaution inutile. Plusieurs brevets ont été pris à ce sujet, et on les voit mentionnés au commencement de la première partie : ce sont ceux de Hooke (p. 3), Woodcroft (p. 12 et 22), Christopher Hays (p. 13et 246), Joseph Maudslay (p. 16), et Griffith (p. 18). La disposition adoptée par ce dernier a été décrite pages 19 et 297, et on a vu son peu de succès à bord de *l'Agamemnon*. Quant à celle de M. Maudslay, elle consiste à planter les ailes par la base de leurs bras dans un trou rond percé dans l'arbre et à les y mouvoir à volonté au moyen d'un pignon qui entoure la base de chacun des bras. Les deux pignons engrènent ensemble afin de tourner les ailes en même temps et en sens inverse, jusqu'à ce qu'elles soient arrêtées par un toc; celui de l'avant reçoit seul le mouvement, au moyen de deux saillies prises dans la coulisse d'un anneau qui entoure l'arbre et glisse de l'avant à l'arrière avec un mouvement de sonnette entraîné par la branche horizontale d'une vis, qui monte jusqu'au pont. Les ailes ont une plus grande surface vers l'arrière que vers l'avant, afin qu'en tournant elles prennent naturellement leur position, et s'appuient sur les tocs; et si le navire marche par ses voiles, tandis que la machine est stoppée, elles se placent naturellement dans le plan de la

quille. Cette facilité de changer l'inclinaison des ailes parut convenir aux grandes navigations, et la compagnie générale Screw-steam Shipping l'adopta pour ses navires destinés à doubler le cap de Bonne-Espérance et à se rendre en Australie. Des avaries fréquentes ont bientôt démontré combien les mécanismes compliqués conviennent peu à l'hélice et combien sa solidité est compromise dès qu'elle perd sa simplicité primitive.

CHAPITRE II.

INSTALLATION DES HÉLICES A BORD DES NAVIRES.

En France, des expériences précises ont établi des principes assez certains, pour qu'on se soit moins préoccupé des formes bizarres proposées par plusieurs inventeurs que des proportions convenables des différentes parties, suivant la puissance motrice et la résistance des navires. Les diverses difficultés pratiques de l'installation de l'hélice ont aussi attiré l'attention. La première hélice employée sur *la Pomone* dépassait l'étambot et se trouvait en porte-à-faux sur son arbre : cette disposition a été encore adoptée sur des navires en fer, en découpant le safran en deux et donnant au milieu de la fusée du gouvernail la forme d'un œil, pour le passage de l'arbre, comme on le voit sur l'élévation du navire *le Frankfort* (pl. VIII). Cette position en porte-à-faux a été aussi adoptée en dedans du cadre de l'hélice, pour ne pas faire porter l'effort sur l'étambot; elle convient tout au plus aux navires en fer, et elle a le défaut de faire agir l'hélice au bout d'un levier et d'augmenter les secousses de l'arrière; elle tend ainsi à user l'arbre et à déformer le trou dans l'étambot, auquel le graissage manque, et surtout elle occasionne ainsi des infiltrations abondantes. Il est donc préférable de tenir l'arbre de l'hélice par l'arrière comme par l'avant, qu'elle se démonte ou qu'elle reste en place. Aussi, quoique plusieurs modifications aient été proposées, on adopte généralement la position en avant d'un gouvernail; et la seule différence qui existe encore, c'est que les hélices sont fixes ou amovibles, suivant la nature des navires et de leur service. Il convient donc d'examiner ces deux manières d'agir.

COUSSINET DE M. DUPUY DE LÔME.

Frappé sans doute des inconvénients des puits nécessités par le démontage de l'hélice, M. Dupuy de Lôme, ingénieur de la marine, a inventé une méthode, aussi simple qu'ingénieuse, de changer le coussinet du bout de l'arbre contre l'étambot. Pour cela il a percé, sur l'avant de ce dernier et descendant jusqu'à la cage *mm'*, *nn'* (fig. 3, pl. VIII), une sorte de petit puits *ppoo* de 0^m,50 de large sur 0^m,30,

dans le sens de la longueur du navire. Ce puits est garni en cuivre à l'intérieur, et la coulisse qu'il forme descend dans la face avant de l'étambot, jusqu'à la hauteur de l'arbre *ab*. Il sert à introduire une tige en bronze ou en fer *cd* (fig. 3 et 4), suivant la nature de la construction, dont le bout inférieur s'évase un peu, et reçoit dans son intérieur un coussinet *c* dans lequel s'engage l'arbre, terminé à ce point par un tourillon conique *a*. Une clavette maintient ce coussinet et permet de le changer, et le bout de la tige, qui, dans cette partie, a 0^{m},22 de large, est encastré dans un massif en bronze *g* fixé à l'étambot. Au-dessus du coussinet la tige a la section d'un triangle de 0,220 de base et de la même hauteur, dont l'angle dirigé vers l'avant sépare facilement l'eau; mais une fois rentrée dans le navire en *o*, elle se rétrécit et n'a plus que 0,165 de diamètre, jusqu'à ce qu'elle déborde au pont de la batterie basse, où elle est filetée et prise dans un gros écrou *d* reposant sur une savate fixée au pont: le haut de l'écrou forme une sorte d'anse pour hisser la tige entière à travers de petites écoutilles pratiquées en dessus. On élève ainsi le coussinet dans la batterie, et on le change s'il y a lieu; maintenant on le garnit en métal anti-friction. Mais pour le soulever ainsi il faut dégager le bout de l'arbre, ce qui s'effectue en le balant de l'avant d'une longueur suffisante et limitée par le bourrelet *h* que forme le moyeu de l'bélice. Comme l'arbre des bélices disposées de cette sorte ne touche pas le trou de l'étambot avant, il n'est soutenu que par le coussinet de l'arrière, qui, en même temps, sert à le soulever et à le ramener en ligne droite si le navire a pris de l'arc. Le tourillon *a* qui termine l'arbre a une forme conique, et, lorsqu'il est trop pointu par l'arrière, il présente un plan incliné qui, pendant qu'on marche à la voile, repousse l'arbre vers l'avant par saccades, et cause des ébranlements violents, qu'on n'arrête qu'en calant l'arbre au moyen d'une rondelle interposée entre les deux plateaux *abcd* et *efgh* (fig. 24, pl. VIII) de l'embrayage, afin d'empêcher de si grandes masses de ballotter. En général, la forme conique des tourillons n'est utile que lorsqu'elle sert à remplacer l'usure par le rapprochement des pièces, sans que pour cela cet effet soit assez fort pour occasionner des échauffements. Ainsi, les pivots verticaux sont coniques, parce qu'ils s'usent par le bout en même temps que par les côtés, et ne nécessitent qu'un calage. Mais lorsqu'un coussinet de tourillon peut être changé facilement, il est convenable de se rapprocher de la forme cylindrique. Celui dont il est question est renfermé dans la

saillie inférieure *c* de la tige *dc* (fig. 4, pl. VIII), et il y est maintenu par une clavette; de sorte qu'aussitôt monté dans la batterie, il est changé en un instant. Il convient toutefois de dire que cette opération est très-rarement nécessaire, et qu'à bord du petit *Napoléon* de la poste, maintenant nommé *le Corse*, où l'arbre fait de 120 à 128 tours par minute, les coussinets se sont si peu usés, que ce n'est qu'au bout de six ans qu'on leur a mis une cale de $0^m,007$ d'épaisseur. Dès que la surface flottante est assez étendue et qu'on fait arriver de temps à autre de l'huile, la durée des coussinets plongés dans l'eau est très-grande. Nous en avions déjà la preuve par celle des tourillons des arbres de roues d'aubes.

Ce procédé n'eût pas été complet, s'il n'avait pas été possible de travailler à la garniture pour en changer les tresses quand elles sont usées ou pourries. M. Dupuy de Lôme a utilisé, dans ce but, le mouvement donné vers l'avant à l'arbre et à l'hélice, dans le but de dégager le tourillon. Pour cela il a entouré le trou ou œil de l'étambot d'une pièce concave *h'h'* semblable au godet qui entoure les tiges de piston à la partie supérieure des couronnes de presse-étoupe, et il a donné, au bout avant du moyeu de l'hélice, une forme bombée *hh*, de manière à remplir la cavité de l'œil. Quand on veut travailler aux garnitures il suffit de faire plonger un homme pour entourer l'arbre d'un peu d'étoupe ou de filasse enduite de suif, et, en tirant le tout vers l'avant, avec les vis, on comprime assez cette étoupe pour empêcher l'eau d'entrer et pour permettre d'enlever jusqu'à la dernière tresse sans éprouver des infiltrations dangereuses. Le presse-étoupe placé à la fin du massif arrière est disposé comme celui d'une tige de piston, et sa boîte est fixée à la charpente du navire. La garniture reçoit l'huile d'un godet dont le tuyau traverse le bois; elle est renfermée dans une partie renflée du tuyau, comme pour les grandes conduites de vapeur. Le tube *hl* est encastré dans le bois depuis cette partie jusqu'à l'étambot, où il déborde et se trouve fixé par des vis; il est en cuivre jaune et entouré de mastic pour qu'il n'y ait pas d'intervalle entre lui et le bois. Son diamètre excède celui de l'arbre de plusieurs centimètres, afin de ne pas courir les chances d'être usé par le mouvement de ce dernier, si les déformations du navire changent les alignements; il est placé de manière que dans sa position première, l'arbre soit très-voisin de sa partie inférieure, et qu'il y ait du jeu en dessus pour l'arc que prend le vaisseau. Tout le massif de charpentage de l'arrière est calfaté :

l'oubli de cette précaution exposerait à de graves accidents, si le tube était fendu ou usé par le frottement. Puisque les milliers de tours de l'arbre n'exposent plus à des usures irréparables sans une entrée au bassin, ni à des dénivellements nuisibles au mouvement, l'hélice n'a plus besoin d'être démontée, et cette disposition convient parfaitement aux paquebots dont le rôle est d'aller, dans le plus court délai, d'un point à un autre, et qui ne le rempliraient pas, s'ils naviguaient fréquemment à la voile. Il n'en est pas de même pour le navire de guerre destiné aux missions lointaines, d'une longueur indéterminée, et, par conséquent, à marcher presque toujours à la voile; aussi la question du démontage des hélices n'est-elle importante que pour les vaisseaux; mais avant d'en détailler les avantages et les inconvénients, il convient de dire comment cette opération est effectuée.

DÉMONTAGE DE L'HÉLICE.

Avant l'adoption de l'hélice et à l'époque où elle n'était qu'en germe dans les brevets des inventeurs, on avait pressenti les inconvénients de l'avoir toujours en place, et on avait indiqué divers moyens de la démonter. En 1838, Joseph Taylor mentionna, dans une patente, un moyen de monter et démonter l'hélice avec un cadre glissant entre deux étambots. (Voir page 8.) La même année, le capitaine Smith, de la marine royale anglaise, proposa un système qui fut essayé sur *l'Archimède* en 1842. Il enlevait les chapeaux de palier dans des rainures angulaires, rentrait l'arbre et soulevait extérieurement l'hélice et son moyeu. En 1842, l'ouvrage de Tredgold décrivit un moyen aussi peu praticable. M. Labrousse, capitaine de vaisseau, proposa ensuite de percer un puits, et dans son ouvrage sur les propulseurs sous-marins, il expliqua de nouveaux procédés de démontage, exécutés depuis sur *le Chaptal*, et généralement adoptés maintenant. Ils ne furent appliqués qu'à de petits navires en fer, et jusqu'en 1848, on ne se décida pas à pratiquer des puits dans l'arrière de nos constructions en bois, tandis que les Anglais les admettaient dans leur marine.

Lorsqu'elle est destinée à être démontée, l'hélice n'a jamais plus de deux ailes, afin de présenter le moins de largeur possible, et de n'exiger que l'ouverture strictement nécessaire à son passage dans l'arrière du navire. Les constructions en bois nécessitent cette disposition, et le peu de liaison de leurs parties, comparativement à celles en tôle, ne permet pas

des ouvertures assez spacieuses pour remonter une hélice à quatre branches. Les navires en fer ont pu seuls s'y prêter, et quelques-uns d'entre eux ont en des puits assez larges pour de telles hélices; mais depuis que celles à deux branches ont montré qu'elles avaient les mêmes qualités, elles ont été adoptées exclusivement pour le cas du démontage. Si on est revenu de nouveau à employer quatre ailes, comme nous le verrons plus tard, ce n'a été que pour les replier et diminuer encore plus l'espace nécessaire au passage dans le navire. Afin d'être élevée, l'hélice *h* est contenue dans un cadre *abcd* (fig. 1, et 15, 16 et 17, pl. VIII), en bronze si le navire est en bois, et en fer forgé s'il est construit en tôle: les extrémités de l'arbre particulier de l'hélice *ef*, qui est parfois de la même coulée qu'elles, sont portées sur les bouts inférieurs de ce cadre, qui s'étend rarement plus bas pour achever d'entourer l'hélice. Les parties où portent les bouts de l'arbre, sont renflées de manière à contenir des coussinets en métal doux, serrés par des boulons et des écrous (fig. 15, 16 et 20), et vers l'arrière, une buttée ou simplement une plaque facile à changer, est placée pour résister à la poussée dans cette direction. Ce châssis est encastré dans les coulisses pratiquées dans les deux étambots et garnies intérieurement de lattes en bronze, de manière à monter et descendre librement, mais sans éprouver du jeu. Tantôt ces coulisses sont en creux dans le bois, et c'est le cadre qui entre dans les rainures; tantôt, au contraire, les faces en regard des deux étambots présentent des nervures ou saillies *gi* (fig. 17, 20 et 22), et le cadre est creusé par des coulisses sur ses côtés verticaux. Quelquefois on a donné la forme d'un trapèze à la section de ces guides; et il eût été peut-être préférable de leur conserver celle d'un rectangle, parce qu'étant en métal creux, il n'y avait pas lieu de craindre d'affaiblir en économisant le poids et en ne conservant pas assez de force à la base. Dans de telles parties, l'usure n'est pas à redouter, il ne faut donc pas de serrage, et d'ailleurs celui-ci n'est pas possible. Il n'y a guère à se préoccuper que des déformations, et avec des surfaces obliques en contact, on est exposé à un coinçage assez fort pour empêcher le mouvement, ou à un jeu dans tous les sens, qui ébranlerait l'arrière par ses chocs. Au contraire, entre des guides parallèles, le jeu n'est guère à craindre que dans le sens de la longueur du navire, et alors l'impulsion constante du propulseur n'expose à un choc qu'au moment du départ ou d'un changement de direction; alors aussi une correction est plus facile pour l'addition de bandes sur les faces extrêmes du châssis. Il est bon que le cadre ait peu d'épaisseur, et surtout

qu'il soit disposé de manière à ne se rapprocher que le moins possible de l'hélice, afin de laisser autour d'elle un espace libre assez vaste pour que l'eau, rejetée obliquement par ses ailes, ne choque pas avec force les surfaces voisines et n'ébranle pas davantage le navire. Ainsi, les châssis dans le genre de celui de la figure 1, pl. IX, et les renforts en bronze *cdk*, ne sont plus aussi usités que les dispositions de la figure 17. On a soin de donner des sections aiguës (fig. 22 et 23) aux parties en regard du cadre et des deux étambots, afin de diminuer un peu leur obstacle à traverser l'eau et l'influence de celle projetée par les ailes.

Dans l'origine, on a voulu employer des procédés mécaniques pour élever ou abaisser l'hélice : sur *la Pomone*, c'étaient des chaînes prises dans des treuils barbotins, entraînées par des vis sans fin, au moyen de leviers à rochets. Ces complications amenaient des avaries fréquentes et impossibles à réparer avec les ressources du bord ; elles faisaient recourir à une caliorne, dont l'usage devint bientôt exclusif. Après avoir longtemps employé les mécanismes dont parle M. Bourne, pages 201, 202 et 203, la marine anglaise a également adopté l'usage d'une caliorne avec laquelle le remontage de l'hélice s'opère aussi vite qu'on hisse un canot. Sur *le Charlemagne*, on n'a jamais eu d'autre procédé, et en quelques minutes l'hélice est haute. Les figures 1 et 2, pl. IX, montrent cette disposition : une chaîne *mm* reste constamment unie au châssis, passe sur un rouleau en fonte de fer *n*, et se trouve crochée par une caliorne *p* fixée à l'avant de la dunette, et dont le garant va sur le pont. Avant de chercher à monter l'hélice, on a eu soin de la placer verticalement au moyen d'un engrenage intérieur, tourné par un petit cabestan situé dans le faux pont, et de repères ; le té *ff* du bout de son arbre, est maintenu vertical et dans la direction des coulisses de l'étambot d'avant, par la fente de l'extrémité de l'arbre de la machine. On hisse alors, et l'hélice, ainsi guidée, ne cesse pas d'être droite ; une fois qu'elle présente hors de l'eau son aile supérieure, on passe dans un trou *h'*, le croc d'une itague en filin *oo* (c'est dans la position représentée en ponctué sur la figure 1) qui passe sur un rouleau en bronze *o*, placé derrière celui en fonte *n* de la chaîne, et portés tous deux par une forte traverse de bois *rr*, placée au-dessus du puits. Une seconde caliorne *ss* vient alors aider la première et empêche les chocs de la mer de détourner l'hélice de sa position verticale. A ces précautions on ajoute souvent un loquet ou verrou, pour maintenir les ailes en tenant la plus haute au cadre, mais à la profondeur où se trouvent les hélices des vaisseaux ; ces moyens sont d'un

emploi difficile, dès qu'il y a de la mer. Sur les vaisseaux anglais, le haut du cadre a un renflement renfermant trois gros réas en cuivre, pour recevoir un fort garant passé en haut dans une poulie à trois rouets solidement fixée au-dessus du puits, le garant se prolonge sur le pont et se tire directement. Pour éviter les suites de la rupture d'un garant, chacun des étambots porte une latte dentée en crémaillère oblique, sur laquelle appuie un linguet pour s'opposer à la descente du châssis, dans le cas où une partie de l'appareil se romprait. Cet accident est arrivé, mais heureusement il n'a pas eu les conséquences qu'il était naturel de redouter de la chute d'un si grand poids. Il vaut mieux avoir tout cet appareil en filin goudronné qu'en cordage blanc, parce que si le premier est moins fort, il ne s'échauffe pas ; l'humidité pourrit rapidement le second et l'expose à manquer au moment où on ne s'y attend pas. En outre il serait, je crois, préférable d'avoir toujours l'appareil passé, quand l'hélice est amenée, ou du moins d'avoir un petit filin passé dans les réas, pour qu'en tirant dessus ce dernier, le gros garant se trouve promptement passé. C'est pour avoir l'appareil toujours prêt, qu'on a placé une chaîne à bord du *Charlemagne*, mais quoique avec des rouleaux à engoujure et à empreinte une itague en fer n'ait pas les inconvénients de roideur de celle en gros filin, elle n'en fait pas moins perdre plus de force qu'une action directe. D'après la manière dont on vient de voir que l'hélice était remontée, on déduit naturellement la manœuvre pour la descendre, et il n'y a d'autre précaution à prendre qu'à placer la fente du bout de l'arbre du navire dans une position verticale.

Ce procédé si simple d'opérer l'union ou la séparation des deux arbres a été employé, pour la première fois, à bord du *Chaptal*, par M. Cavé (fig. 1 et 3, pl. XIII). Le bout de l'arbre du navire se termine par une partie plate *q*, qui entre dans les branches V' de l'arbre de l'hélice : c'est l'inverse de ce que nous venons de voir, la fente se trouvant maintenant à l'arbre du navire, et la partie plate à celui de l'hélice, afin de servir de guide dans la coulisse d'étambot. On voit également en *b* et *a'* le mécanisme employé à mettre l'hélice verticale avec un petit cabestan; car la machine ne saurait être manœuvrée avec assez de précision pour placer ainsi l'hélice. Le châssis Y du *Chaptal* entoure complétement l'hélice ; d'autres, tel que celui de *la Pomone*, ne comprennent que la partie inférieure, et ne présentent les points d'appui pour le hisser, qu'un peu au-dessus de l'arbre ; ils exposent ainsi les chaînes ou les garants à être rencontrés par les ailes et forcent à descendre plus bas pour les crocher.

Actuellement, l'usage est de disposer les cadres en dessus do l'hélice, comme on lé voit sur la planche IX.

A bord de la frégate *la Pomone* et de quelques autres navires, la séparation des deux arbres est opérée en rentrant dans l'intérieur celui du navire, pour dégager son bout de la cavité de celui de l'hélice et laisser passer le châssis. Un appareil de vis puissantes placées sur un collet dans la direction de l'axe de l'arbre produisait ce mouvement, mais ce n'était qu'avec lenteur. Le bout de l'arbre du navire avait la forme d'un tronc de pyramide hexagonale, dont les faces avaient peu d'obliquité relative : il entrait dans une cavité semblable de l'arbre de l'hélice et portait par ses faces; mais il fallait, pour cela, qu'il fût bien à joindre, sans quoi il eût été à craindre d'abattre les angles et de tourner sans entraîner l'hélice. En outre, les vis supportaient tout l'effort de poussée pendant la marche. Ce procédé a été remplacé par le moyen beaucoup plus simple dont on vient de voir le détail, et dont l'usage est devenu général.

Dans les navires en bois, l'influence du cuivre du doublage empêche d'employer le fer pour l'arbre du navire : aussi on lui substitue du bronze, à partir de l'embrayage intérieur ou du moins de l'avant du presse-étoupe. (Voir pl. XI.) Afin de lui donner assez de solidité, il est évasé en dehors du navire *zz* (fig. 1, pl. IX) et tourne dans une boîte de même forme pratiquée dans le contre-étambot : de la sorte, la fente ou rainure est beaucoup plus longue, et le bout de l'arbre de l'hélice, au lieu d'être seulement aplati, forme uno sorte de traverse ou té perpendiculaire à l'arbre. Afin de réunir la solidité à la légèreté, les arbres du navire sont le plus souvent en fer recouvert d'une couche de bronze coulé pendant quo l'arbre est chaud; on emploie aussi le cuivre rouge dans les parties où il n'y a pas de frottement. Ces détails sont donnés plus loin dans la description de l'appareil de M. Mazeline. L'oubli de cette précaution produit l'altération rapide de l'arbre; car, lorsque l'effet galvanique est en jeu, il commence lentement et prend une grande activité dès qu'il a détruit le poli. L'arbre de l'hélice est souvent en acier; et en ayant soin de ne le laisser dans l'eau que lorsque la machine fonctionne, d'en rétablir le poli s'il est altéré, et de le graisser à chaque fois, on arrive à éviter les effets galvaniques du cuivre et du fer activés par le sel de l'eau de mer. Tout l'effort des machines agissant sur le petit té ou croisillon de l'arbre de l'hélice, on est porté à le faire aussi en acier, afin d'éviter de trop grosses dimensions. La largeur dc ce té est

égale à celle de la coulisse de l'étambot, afin de servir de guide en remontant le châssis, comme on l'a expliqué plus haut. La direction de l'hélice par le té de son arbre engagé dans la coulisse est très-avantageuse, en ce qu'elle suffit jusqu'à ce que l'hélice soit assez hors de l'eau pour passer dans le trou de l'aile le croc de l'itague en corde ; et même, s'il y avait de la mer et qu'il fallût exposer la vie d'un homme dans l'espèce de gouffre écumeux présenté alors par le puits, la coulisse continuerait à maintenir l'hélice jusqu'en haut. Mais il faut pour cela que ses deux côtés soient assez solides pour résister aux efforts du té, d'autant plus grands qu'il est très-court relativement aux ailes. Cependant la coulisse n'est quelquefois formée que par des rebords en bois garnis de cuivre mince. Toutefois c'est un des avantages de cette sorte d'embrayage ; car celui adopté sur *la Pomone* ne laissait aucun guide après la séparation des arbres, et par conséquent il exigeait de passer le croc avant de désembrayer. Avec de la mer c'était impossible, et on avait cherché à y suppléer par diverses sortes de fourches et de loquets passés dans la traverse supérieure du châssis. Mais ces procédés étaient lents et incertains dès que la mer était grosse. On comprend quelle précision exigent toutes ces opérations et combien il importe de ne mettre en marche qu'une fois qu'on est sûr que l'hélice est à son poste et que son arbre ainsi que celui de la machine sont exactement en ligne droite. Une erreur causerait de très-graves accidents, et des repères exacts et faciles à trouver doivent être établis pour l'éviter. L'emploi d'hommes intelligents et toujours les mêmes, pour des postes semblables, est une des plus grandes sécurités.

Disposée de la sorte, l'hélice est prête à monter dans le navire, en passant par le puits, vaste espace *aba'b'* (fig. 2 et 22, pl. IX; la fig. 2 ne montre que la moitié de la surface du puits) découpé dans l'arrière du vaisseau et s'étendant jusqu'au premier pont, pour permettre au propulseur entier de rentrer dans le navire Ce puits isole l'étambot du gouvernail (fig. 1) encore plus que le trou pratiqué dans le massif arrière pour le jeu de l'hélice (fig. 3). Tout doit donc tendre à diminuer son étendue. C'est dans ce but que les hélices qui se démontent n'ont que deux ailes : un plus grand nombre aurait entraîné à couper l'arrière en deux. Mais, malgré cette diminution de largeur, la nécessité de donner assez de surface aux ailes a entraîné à faire les puits très-larges et à séparer encore plus l'étambot. L'intérieur du puits est solidement bordé et calfaté ; quelquefois ses angles sont garnis de plomb et de prismes de

bois cloués. On a même été jusqu'à les couvrir entièrement en cui vre (fig. 22).

En général, nos puits sont percés trop en arrière; si de la sorte ils placent l'hélice dans une partie où les formes du navire sont plus fines, d'un autre côté, ils ne permettent pas de consolider l'étambot, et ils l'isolent au point qu'entre lui et le navire il existe un grand espace libre au-dessus de l'eau, à travers lequel on voit le jour. Nos premiers étambots de vaisseaux n'avaient pas plus de 80 centimètres dans le sens de la longueur du navire; ils étaient donc très-vulnérables, et un boulet dans cette partie importante pouvait faire perdre à la fois le moteur et le gouvernail. On a cherché à y obvier en abaissant le plus possible cette partie du navire, de manière à mettre l'orifice du puits presque entièrement sous l'eau. La diminution de largeur de ce dernier, due à la disposition d'hélice de M. Sollier, a permis de masquer cet intervalle, en apparence du moins, pendant que le navire est en pleine charge; mais la consommation de combustible le découvre, lorsqu'elle n'est pas balancée de manière que le tirant d'eau de l'arrière ne varie pas et que la carène n'émerge que de l'avant. Il serait préférable de porter l'hélice et son puits plus en avant, et de laisser à l'étambot une épaisseur d'un mètre et demi à deux mètres dans le sens de la quille, comme sur les vaisseaux anglais : dès lors cette partie importante, fortifiée par les ferrures du gouvernail et par des lattes de cuivre, n'est plus une pièce qn'un boulet brise, ou affaiblit au point de ne pouvoir plus compter sur elle, et elle rentre presque dans les conditions habituelles, d'autant plus que le puits se trouve naturellement dans des parties moins fines et que par conséquent son orifice est plus bas.

Il est également une précaution dont l'importance sera tôt ou tard démontrée par un échouage : ce serait de relever la quille en s'approchant de l'arrière, de manière que le talon de l'étambot du gouvernail ne soit pas le point le plus bas et le premier qui touche. Le désir de donner aux hélices de grandes dimensions n'a fait laisser que très-peu de force à ces parties, et les courbes en bronze, qui les lient, ne résisteraient pas au moindre coup de talon. Il serait donc à désirer que l'étambot enfonçât moins dans l'eau de $0^m,15$ ou $0^m,20$, afin qu'il ne fût pas la première pièce détruite dans un échouage, qui ne causerait peut-être aucun dommage au reste du navire. C'est encore dans un pareil cas qu'nn étambot très-solide offrirait des chances de conser-

ver sa position et l'usage du gouvernail. En Chine, des gouvernails d'une grande surface sont tenus par une fusée ronde prise dans des sortes d'étambrais. Ne serait-il pas prudent d'avoir à l'étambot de l'avant, ou du moins sur le côté pour ne pas gêner le mouvement de l'hélice quand on la démonte, des ferrures propres à monter un gouvernail de fortune, si l'étambot de l'arrière et le propulseur sont emportés? Sur un navire mixte, un gouvernail de rechange est inutile sans une pareille précaution; car l'étambot est plus exposé, surtout lorsqu'il est encore affaibli à son point de liaison supérieur par une partie découpée pour le passage de la fusée courbe du gouvernail. Les hélices des vaisseaux sont assez plongées dans l'eau pour qu'en se rapprochant de l'avant, elles n'exigent pas dans le puits une sorte d'écusson ou d'arrière de canot, comme on en a vu aux premiers navires à hélice; et dans les nouvelles constructions, on a suffisamment affiné l'arrière pour ne pas redouter d'éloigner le propulseur de l'étambot, afin de donner une force suffisante à ce dernier.

Dans le principe tous les puits étaient fermés par des battants de porte à charnière *tt* (fig. 1, pl. IX) ayant la forme courbe de l'arrière; ces portes s'ouvraient en larguant leurs retenues dans le puits et en abraquant une corde extérieure *t't'* : elles étaient donc très-mal tenues, et, avec la moindre mer, elles couraient le risque d'être faussées ou d'avoir leurs gonds arrachés. Sur les petits navires, il est nécessaire de fermer le puits pour n'être pas envahi par l'eau; mais aussi la petitesse des portes en rend alors la manœuvre moins difficile, et malgré cela il a été quelquefois préféré de démonter tout à fait l'hélice, pour mettre par l'intérieur des tampons de manière à fermer le passage à l'eau. Les portes rendent les manœuvres plus longues et plus difficiles en ce que, excepté sur les vaisseaux, il faut d'abord mettre l'hélice horizontale pour les ouvrir, et la ramener verticale pour la remonter. Tout cela est long et compliqué; aussi sur les navires d'une dimension ordinaire, tels que les corvettes, cette précaution est inutile et devient une cause d'embarras. Plusieurs ont démonté leurs portes et se sont contentés de placer au-dessus du puits un panneau percé de trous pour laisser passage à l'air, lorsqu'en plongeant le puits se remplit d'eau, et pour arrêter cependant les éclaboussures projetées par la mer. Sur les vaisseaux surtout, quand le puits débouche bas, l'usage de ces portes ou clapets est, d'un côté, plus difficile, et, de l'autre, moins nécessaire; et le mouvement de la mer, dans l'intérieur, étant incapable de remuer un

poids aussi considérable que l'hélice, ne produit qu'un bruit et une écume sans danger. Les Anglais paraissent avoir entièrement renoncé à l'usage de ces clapets.

Le puits est trop voisin de la fusée du gouvernail pour permettre l'usage de la barre ordinaire; aussi on a été forcé de la modifier de plusieurs manières. On l'a fait sortir par le travers du gouvernail pour la courber ensuite *cde* (fig. 2, pl. IX) dans le sens de la quille et la faire jouer sur le côté du puits comme le ferait une barre droite (tracé ponctué). Mais le long développement d'une telle barre la rend peu solide ou très-pesante, et on a préféré la rendre presque droite *cd* en la mettant perpendiculaire au plan du safran, comme une des branches d'une barre à l'anglaise. Alors on lui a établi un crapaud latéral *fg*, sur lequel sa drosse a porté comme à l'ordinaire; mais de la sorte, le bras de levier de la barre était très-petit. Pour obvier à ce défaut, malgré le peu d'espace libre entre l'étambot et le puits, on a eu l'idée de faire une barre droite *hi*, très-courte et articulée à une sorte de bielle *ij*, du bout de laquelle part une barre *jl* ayant un point de rotation *k* sur un massif fixé à un barreau; de manière à former un levier du premier ordre, dont le long bras reçoit la drosse *ml* et transmet tous les mouvements à la barre au moyen de sa bielle. La grande barre se trouve ainsi sur le côté et assez éloignée du puits pour avoir son jeu libre. Cette disposition ramène l'effort de la drosse à ce qu'il est d'habitude, mais il augmente beaucoup celui exercé sur les aiguillots; car plus le levier d'action sur le gouvernail est court, plus il faut de pression sur les ferrures pour faire tourner, puisque le centre de résistance du gouvernail est le même, et plus aussi la mèche éprouve de fatigue, si, comme d'habitude, le premier aiguillot est à une distance d'environ 4 mètres de la barre. Je crois qu'avec une barre aussi courte, il conviendrait d'avoir une ferrure très-près d'elle, pour maintenir la tête du gouvernail, et si l'aiguillot gênait pour le démontage, il serait facile de le faire volant, en l'établissant sur une garniture métallique, afin de le replacer exactement. Quand l'hélice ne se démonte pas, la barre est disposée comme d'habitude.

Pour continuer à gouverner quand même la barre ou la fusée du gouvernail seraient brisées, M. Ansar, lieutenant de vaisseau, a proposé de fixer au gouvernail, et à une profondeur convenable, deux arcs de cercle latéraux sur lesquels viendraient appuyer des tiges perçant le navire à travers des presse-étoupe, et poussées par des arcs de cercle semblables

mais opposés, de manière à conserver toujours les mêmes distances et les tiges en contact. Ces deux derniers arcs de cercle devaient pivoter sur un axe par l'action de la barre. La longueur des tiges directrices en dehors du navire, à cause de la finesse des formes et de la cage de l'hélice, et surtout la petitesse des leviers d'action qui repoussent le gouvernail en arrière, ne permettent pas d'employer cette disposition; mais c'est une idée première qui amènera probablement à quelque procédé praticable.

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES HÉLICES FIXES OU AMOVIBLES.

Les avantages de démonter l'hélice, et ceux de la laisser en place, ont été souvent discutés; et bien que plusieurs expériences aient été faites dans le but de décider cette question, on n'en a pas moins continué à disposer le propulseur des deux manières, du moins pour la marine militaire : car les navires marchands ont exclusivement adopté les hélices fixes, si l'on peut nommer ainsi celles qui ne se démontent pas. En effet, la nature de leur service et la régularité qu'il exige ne permettent presque jamais de négliger l'usage du propulseur; dès lors il a mieux valu ne pas compliquer sa disposition en la rendant moins solide. Mais le bâtiment de guerre a des conditions différentes à remplir : l'irrégularité de ses missions et les distances considérables qu'il franchit en conservant un combustible limité et précieux, pour le combat ou pour des dangers de mer, ne permettent l'emploi du propulseur mécanique que dans des circonstances assez rares. Par conséquent il éprouve un désavantage marqué à l'avoir longtemps en place sans l'utiliser; et comme le vaisseau a conservé ses qualités de voilier, toute cause tendant à les diminuer deviendrait souvent nuisible. Il y a donc, en principe, intérêt pour lui à démonter l'hélice; mais comme cette opération entraîne à des dispositions désavantageuses sous d'autres rapports, il en résulte que la question est de savoir, si l'inconvénient de traîner une hélice inutile est plus ou moins grand, que celui d'avoir un puits et les accessoires nécessaires au démontage.

L'inspection des figures 1 et 3 de la planche IX permet d'apprécier ces deux dispositions de l'hélice. Dans celle n° 3 on voit l'hélice du *Napoléon*, installée d'une manière permanente par M. Dupuy de Lôme; elle n'a nécessité que le cadre dans le massif d'étambot, nécessaire à son jeu; tout le reste de la construction est intact; enfin, on n'a retranché

qu'une petite portion de la charpente, qui ne sert guère que comme plan de dérive et comme liaison de l'étambot avec le reste du navire. En outre, toute la partie isolée de l'étambot se trouve plongée assez profondément pour ne pas craindre l'atteinte du boulet et pour laisser celle exposée à ses chocs presque aussi solide que d'habitude. Tout cela est très-avantageux, et si les vaisseaux n'étaient pas destinés à naviguer au loin, mais à rester au port, pour ne sortir qu'au moment du combat, nulle disposition ne serait plus militaire que celle-ci et ne devrait lui être préférée. Mais il n'en est pas tout à fait ainsi; le vaisseau, bien que construit exclusivement pour le combat, est forcé de naviguer: la guerre se fait en tous lieux, et les qualités nautiques y jouent un plus grand rôle que celles des affûts et des roues de l'artillerie de terre, pour franchir toutes sortes de terrains. Il ne faut donc pas diminuer ces qualités, et c'est ce qu'on reproche à l'hélice constamment en place. Si elle influe peu sur un sillage rapide, elle le retarde notablement avec les petites brises, et quelque parfaite que soit sa disposition, elle s'arrête à trois nœuds environ, opposant alors l'obstacle de toute sa surface. Quelques expériences comparatives de *la Pomone* et de *l'Iphigénie* portèrent à croire que l'hélice n'avait pas d'influence sensible sur la marche; plusieurs virements de bord vent devant firent aussi admettre qu'elle ne gênait pas les évolutions, mais on ne s'en assura pas avec de la mer. Depuis cette époque, la marche à la voile du *Caton* et du *Chaptal* sembla confirmer cette opinion; mais peut-être auraient-ils marché encore mieux sans leur hélice. Cependant ces preuves parurent suffisantes pour décider que l'hélice du nouveau vaisseau à grande vitesse *le Napoléon* serait disposée d'une manière permanente. Depuis cette époque on a percé des puits, ou on s'en est exempté, suivant les plans des constructeurs, et on n'a pas encore décidé définitivement cette question importante. Cependant, d'après de nouvelles expériences faites entre *le Napoléon*, *le Charlemagne* et les autres vaisseaux de l'escadre, il a été prouvé, en démontant et remontant alternativement l'hélice du *Charlemagne*, et comparant ses vitesses à celles des autres vaisseaux, que l'hélice affolée retarde le sillage d'une manière sensible; en remontant l'hélice, *le Charlemagne* parcourt de 1000 à 1200 mètres de plus par heure : il en gagne 600 à un autre vaisseau, qui le gagnait dans le premier cas, et 2000 environ au *Napoléon*. Enfin, on a constaté qu'avec son hélice haute, ce vaisseau a un meilleur sillage, sous toutes les allures, que tous les autres, et même que de bonnes frégates; tandis

qu'il ne fait que tenir son poste avec l'hélice affolée. *Le Montébello*, avec son hélice fixe, est le plus mauvais marcheur.

Les principaux inconvénients des puits sont de diminuer la solidité de l'arrière, en le découpant sur une grande largeur, et d'isoler l'étambot au-dessus de la flottaison : ils sont très-graves pour la navigation comme pour la guerre, surtout avec les dimensions actuelles, mais ils vont presque disparaître par l'adoption des hélices de M. Sollier, dont on verra la description plus loin, ou par celle de M. Mangin, toutes deux permettant de réduire à la moitié l'étendue latérale du puits. On arrivera même à les amener presque aux dimensions d'un étambrai, si on reconnaît que sans trop perdre sur l'utilisation, il est possible de réduire encore l'étendue des ailes. En outre, le surcroît de largeur donné aux étambots actuels rend leur isolement moins dangereux et les rapproche des conditions de l'hélice fixe. Le démontage exige des hélices à deux ailes, dont, il est vrai, le fonctionnement est le même que celui des propulseurs à plusieurs branches, et il force à employer un appareil assez pesant pour hisser l'hélice. Il entraîne également à des dispositions mécaniques moins solides qu'une jonction par des clavettes, mais que l'usage a prouvé être suffisantes. Les avantages du démontage sont de soustraire l'hélice à l'action de l'eau lorsqu'elle est inutile, et de n'avoir pas à traîner un propulseur qui retarde souvent la marche et augmente la durée des évolutions ; il préserve des chances d'engager de gros filins, qu'il est impossible d'enlever sans exposer la vie des hommes, qui plongent pour les dégager, et par-dessus tout il évite au navire des vibrations continuelles qui sont, à sillage égal, beaucoup plus violentes lorsque le propulseur tourne librement que lorsque la machine marche. Ainsi des navires ont été forcés de venir en travers à cause des secousses de leur hélice folle, quand ils filaient 10 nœuds à la voile. Si sur des navires en fer ce n'est qu'une gêne, sur ceux en bois c'est une cause de désunion des parties, et de voies d'eau quand, sur de vieilles constructions, le clouage ne tiendra plus aussi bien. Si on naviguait longtemps de la sorte, il serait à craindre que le calfatage ne sortît plus que par la fatigue ordinaire du navire. En démontant l'hélice, les avaries telles que les ruptures d'ailes sont plus faciles à réparer, et il est possible d'avoir une hélice de rechange en lest dans la cale, pour la mettre en place en quelques instants. Les avaries du cadre se répareraient avec les moyens du bord : la forme et la grosseur de ses pièces permettent de le consolider accidentellement. Pour le cas d'avaries graves dans le presse-étoupe ou

dans le tuyau de l'arrière, et de voies d'eau dans ces parties, il serait très-avantageux de leur éviter les trémitations continuelles et la fatigue du propulseur, et de n'être pas forcé de rallier un bassin peut-être trop éloigné. En se résignant à redevenir navire à voiles, un vaisseau pourrait arrêter une voie d'eau par en dedans et calfater le presse-étoupe, ce qui ne serait pas praticable avec un arbre toujours en mouvement. Maintenant que les puits percés à l'arrière tendent à diminuer d'étendue et à ne plus découper aussi complétement l'arcasse que les premiers, on peut établir qu'ils offrent au marin des ressources pour visiter son propulseur et surtout pour l'empêcher de tourmenter inutilement une partie déjà très-affaiblie par le grand trou de la cage de l'hélice, et par celui de l'arbre à travers le massif arrière. Il est vrai que le puits sépare une partie des hauts, mais il n'y produit guère plus de vide que les écoutilles dans le reste du navire, et avec les nouvelles hélices il n'ajoutera pour ainsi dire qu'un sabord d'arcasse au milieu et à l'avant de l'étambot, au lieu d'être par le travers de ce dernier, comme ceux pour l'artillerie. Ce rétrécissement du puits permet aussi un service plus facile des pièces de retraite.

Les hélices fixes offrent l'avantage de ne modifier en rien les hauts des navires, de n'avoir que l'ouverture de leur cadre, et de la placer assez bas pour que le boulet n'ait pas plus d'influence sur l'étambot qu'à bord d'un navire à voiles. Elles ont l'inconvénient de n'avoir de réparable que le coussinet de l'arrière au moyen de la disposition ingénieuse de M. Dupuy de Lôme, d'exiger l'entrée au bassin pour opérer les autres réparations. Le propulseur est moins exposé, puisque le plus grand nombre de ses ailes diminue l'importance de la rupture de l'une d'elles. Cette facilité d'augmenter le nombre des ailes permet de faire l'hélice moins longue dans le sens de l'axe, puisque chacune ne prend qu'une plus petite fraction de pas, et par conséquent elle diminue l'étendue du cadre de l'hélice dans le sens de la quille. Les hélices permanentes permettent de passer plus promptement de la marche à la voile à celle à la vapeur; mais cet avantage appartient aussi à l'autre méthode, puisqu'il est possible de laisser l'hélice en bas; et d'ailleurs maintenant elle se hisse ou s'amène aussi promptement qu'une embarcation. De tous leurs inconvénients, les plus grands sont de diminuer la marche et l'action du gouvernail avec de petits sillages, d'exiger un passage au bassin pour les avaries telles que les ruptures d'ailes qui sont arrivées à bord de *la Pomone*, du *Chaptal*, du *Great Britain*, du *Plumper* et d'autres. Les hélices étant en fonte, seront

souvent exposées à ce genre d'avarie, surtout si elles rencontrent un corps flottant. Elles ébranlent beaucoup plus violemment l'arrière que lorsque la machine fonctionne; enfin elles attirent dans leur tourbillon, et sans que rien le dénote d'abord, tout ce qui se trouve sur le passage du navire : cet effet est plus sensible à la marche à la vapeur, et il embobino tellement les cordes autour de l'axe et des ailes, qu'il devient impossible de les dégager, même en exposant des hommes, ni de les couper, à cause de la grosseur des filins. Aussi les bouées des ancres sont très-dangereuses, et comme l'hélice est tous les jours plus usitée, il deviendrait nécessaire de renoncer aux bouées et aux orins à bord do tous les navires, comme on l'a déjà fait sur les vapeurs à roues. Il y a des rades où on préfère ne pas entrer de nuit, à cause du grand nombre de bouées, même avec les navires à roues à aubes.

D'après ce qui précède, je pense qu'il y a lieu de conclure que, dans l'état actuel des choses, l'hélice inamovible n'est préférable que pour le moment d'un combat, et que si le rôle d'un vaisseau se bornait, comme celui d'un cheval de course, à rester au repos pour ne sortir qu'à l'instant de la lutte, il faudrait l'adopter exclusivement. Mais, comme au contraire, il est nécessaire qu'il fasse des campagnes comme le soldat, qu'il est de sa nature d'aller au loin courir les chances de la mer et surtout de naviguer à la voile pour ménager un combustible dont l'approvisionnement est aussi exigu qu'il est précieux, il convient de démonter l'hélice à bord de tout navire dont le rôle n'est pas strictement borné à celui de garde-côte ou de porteur de dépêches à petites distances et cela d'autant plus que tout tend à diminuer les inconvénients inhérents aux méthodes de démontage, sans qu'elles perdent en rien leurs avantages. On ne saurait objecter que les paquebots ne démontent pas leur propulseur, leur rôle de porteur de dépêches et de passagers le leur interdit presque toujours; la régularité des trajets est leur principal avantage, et le démontage fait perdre du temps tout en exigeant beaucoup de bras pour la manœuvre. Aussi pour eux les méthodes de marcher sans machines ont consisté plutôt à mettre les ailes dans le plan de la quille; mais, comme on l'a dit, leur peu de solidité les a fait abandonner. Tous ces mécanismes sous-marins sont moins solides que le mode d'embrayage extérieur usité maintenant.

En Angleterre, les vaisseaux de l'État et les navires de commerce ont exclusivement adopté ce qui convient à leur destination; les premiers, l'hélice qui se démonte; les seconds, le propulseur restant toujours en

place. Une longue expérience a confirmé combien chacune de ces installations convenait au navire qui l'employait. Sur les vaisseaux anglais la voilure est restée le moteur de tous les jours (voir chap. III) et la machine n'est que d'un usage accidentel : la construction plus délicate des appareils et surtout le petit nombre de jours de chauffe en font une nécessité. Au contraire, le paquebot luttant souvent de vitesse contre des rivaux, ou forcé par les pénalités d'un contrat de parcourir un espace dans un temps donné, se trouve presque toujours forcé d'user de tous ses moyens, et si, avec voiles et machine, il dépasse parfois sa vitesse moyenne, c'est autant de gagné pour compenser les contrariétés, qui peut-être l'attendent plus loin. Il est donc presque toujours contraint de chauffer et d'employer son hélice ; par conséquent toute complication dans l'installation du propulseur lui devient non-seulement une inutilité, mais même une gêne et une chance de plus d'avaries. L'affolement lui suffit donc, puisque ce n'est que dans des circonstances rares et très-favorables qu'il peut éteindre. Quelques caboteurs et des charbonniers ont seuls adopté le démontage. Quant à servir pour visiter l'hélice, le puits offre des avantages, bien qu'il puisse arriver des avaries aux moyens de démontage, comme à l'hélice elle-même, et qu'allant régulièrement d'un port à un autre pour y faire un séjour nécessaire au chargement, le paquebot a des moyens de visite et de réparation par la marée ou par les ressources des ports de commerce. Mais le vaisseau est surtout fait pour marcher à la voile, la durée de son séjour à la mer est indéterminée et n'a de limite que les vivres et l'eau ; sa dimension exclut les facilités de visites hors des arsenaux. Il ne saurait traîner constamment une hélice, ébranler son arrière par les trémitations et retarder sa marche avec petite brise. Il faut donc qu'il la démonte facilement ; car sans cela ce serait comme si les embarcations destinées à marcher fréquemment à la voile gardaient toujours leurs avirons armés : encore les élèvent-elles et les pelles ne sont atteintes qu'accidentellement par l'eau ; mieux vaut rentrer les avirons, ce qui pour le vaisseau revient à monter l'hélice dans le puits.

HÉLICE DE M. SOLLIER.

Comme l'expérience a reconnu d'un côté l'avantage et de l'autre les défauts inhérents au percement des puits, on a été porté à diminuer les derniers pour profiter de ce que le système des hélices amovibles offre d'utile. Pour cela, M. Sollier, ingénieur de la marine, a eu l'ingé-

nieuse idée de replier les ailes d'une hélice à quatre branches, quand elle doit être remontée, et de les déployer lorsqu'elle remplit son rôle de propulseur; ayant ainsi la surface convenable pour agir sur l'eau et réduisant à la moitié la largeur du puits pour le démontage. Voici, du reste, cette disposition représentée en perspective (fig. 15 et 16), et en plan (fig. 17, 18 et suiv., pl. IX). Les ailes opposées sont de la même coulée et leur noyau de jonction est une douille; celles de l'arrière *mm* (fig. 14, 15 et 17) sont clavetées sur une portion d'arbre intérieure *eff*, terminée vers l'avant par un té ou traverse *ff'* et engagée vers l'arrière dans une paire de coussinets *n'* (fig. 17 et 20), à l'extrémité inférieure *c* du châssis *abcd*. L'aile de l'avant *hh*, est aussi de la même coulée que son noyau, qui forme une douille et embrasse à frottement l'arbre *eff'*, dont nous avons parlé, sans lui être lié par une clavette. Ce second arbre à douille se prolonge vers l'avant et se termine aussi par un té ou traverse *jj* perpendiculaire à ses deux ailes et renflé au milieu, pour laisser le passage du premier arbre *eff'*. L'arbre à douille de l'hélice avant tourne dans les coussinets d'un palier renversé *nn* qui termine sur l'avant la partie inférieure de la branche *bd* du châssis. Disposées de la sorte, les paires d'ailes peuvent tourner l'une par rapport à l'autre ou être entraînées par le même mouvement. S'il s'agit de marcher, les deux tés se trouvent dans le même plan, comme on le voit fig. 16, et les ailes sont placées d'équerre. La jonction des mouvements est alors opérée au moyen d'une fente ou coulisse *oo* semblable à celle de l'embrayage du *Chaptal*, mais plus profonde et pratiquée dans un massif en bronze *d'd'* claveté sur l'extrémité de l'arbre A. En s'avançant vers l'arrière, cette fourche prend à la fois entre ses deux branches la traverse *jj* et celle *f'f'*, de manière à entraîner les deux paires d'ailes par son mouvement. Cette extrémité de l'arbre ne touche pas la cavité de l'étambot (fig. 17), dans laquelle elle tourne et elle n'est quelquefois soutenue que par son raide et par le presse-étoupe, quand l'hélice est démontée et par le châssis reposant sur les sortes de chaises des deux étambots, lorsqu'elle fonctionne. La cavité pratiquée dans celui de l'avant, pour le mouvement du manchon d'entraînement *d'd'*, et des deux tés *ff* et *jj*, est garnie en bronze, qui dans l'intérieur s'unit au tuyau *tt* (fig. 17) dans lequel tourne l'arbre. Celui-ci a toutes ses parties au delà du presse-étoupe et même le bout *d''* destiné à entrer dans la rainure du té *ff*, recouvert en cuivre, pour préserver de l'effet galvanique.

Pour replier l'hélice, on ne saurait employer la machine et on a recours

à un mécanisme intérieur mû par un petit cabestan, ou par des manivelles, agissant soit sur une vis sans fin, soit sur un pignon ongrenant avec une roue dentée montée sur l'arbre, dans le genre de ce que représente la figure 3, pl. XIII. Au moyen de ce mécanisme et de bons repères intérieurs, on amène la paire d'ailes de l'avant dans une position verticale et on la fixe ainsi au moyen d'un verrou *vv* (fig. 15, pl. IX) passé dans une longue douille pratiquée au sommet *ab* du châssis et descendant s'enfoncer dans un autre conduit du pied du châssis, pour pénétrer dans un trou pratiqué dans la douille *jj* formée par la partie antérieure do l'arbre de la paire d'ailes de l'arrière. Celle-ci étant ainsi maintenue, l'arbre est tiré vers l'avant de toute l'épaisseur du té *jj*, c'est-à-dire d'environ 15 à 16 centimètres, afin que la fente du manchon d'entraînement *d'd'* dégage entièrement le té *j'j'*. Alors le mécanisme dont il a été question est employé à faire tourner l'arbre et par conséquent la paire d'ailes de l'arrière *mm*, dont le té est encore pris dans la fente du manchon *d'd'*, jusqu'à ce qu'elle soit verticale et appliquée sur la première, comme le montre la figure 15. Tout est prêt et l'hélice est hissée par des itagues disposées comme celles du *Charlemagne* (fig. 1 et 2, pl. IX) ou par des caliornes; la paire d'ailes de l'avant reste maintenue par son verrou et celle de l'arrière l'est par son té *ff'*, qui s'engage dans le guide du châssis avant d'avoir quitté celui qui forme la coulisse du manchon *d'd'* maintenu verticalement. C'est pour cela que le fond de cette rainure a une saillie *d''* destinée à faire suite à celle *ii* formée de pièces de bronze creux fixées à l'étambot avant (fig. 17 et 21) pour guider le châssis jusqu'au sommet du puits. Sur l'arrière il est guidé de la même manière par une rainure dans sa branche *ac* embrassant une saillie *gg* plus petite que celle de l'avant.

Toutes ces opérations paraissent compliquées, mais elles ne demanderont que peu de temps dès que les hommes y seront habitués et que les repères seront bien fixés. Elles ont l'avantage d'être pratiquées à l'intérieur du navire; car le verrou lui-même monte assez haut pour être manœuvré du sommet du puits et savoir par un repère s'il est assez entré. La manœuvre de rentrer l'arbre s'opère aussi d'une manière assez simple, en agissant sur la buttée elle-même : celle-ci est à collets, comme nous l'avons représentée planche XI, et porte le bout d'arbre de l'hélice; elle est établie sur une plate-forme planée en fonte, fixée au navire et formant coulisse de l'avant à l'arrière; elle est poussée dans la direction voulue par de fortes vis manœuvrées par des engrenages. Je crois qu'ou-

tre cela il serait utile que pendant la marche des clavettes ou des boulons maintinssent solidement le massif de la buttée sur sa plate-forme.

Pour employer l'hélice, la manœuvre est aussi facile : on l'amène, le té *ff* s'engage dans la coulisse du manchon *d d* restée verticale ; aussitôt le cadre assez bas, on tourne en dedans l'arbre et la paire d'ailes de l'arrière devient horizontale (fig. 16). Alors les deux tés sont aussi horizontaux, ainsi que le manchon ; l'arbre est aussitôt poussé vers l'arrière : une fois à poste le verrou est enlevé et l'hélice est prête à marcher. Il est naturellement nécessaire que pendant toute l'opération, le navire soit en panne afin que le courant d'eau n'agisse pas sur les ailes et par suite sur le verrou ou sur le mécanisme intérieur. Cette manœuvre est évidemment moins simple que celle de hisser une hélice à deux ailes ; mais elle procure l'avantage précieux de réduire à moins du tiers la surface vide du puits et sa largeur à la moitié de ce qu'elle est d'habitude. C'est assez important pour être acheté au prix d'un peu d'attention et d'adresse dans une manœuvre qui par elle-même n'offre rien de difficile, puisque tout est, comme on l'a dit, fait dans l'intérieur. Pour de telles opérations, il est très-utile de donner aux mécanismes destinés à tourner l'hélice, la facilité d'employer beaucoup d'hommes à la fois, afin que la difficulté du travail ne retarde pas. Les bras ne manquent pas et souvent le temps est très-précieux. Ce nouveau genre d'hélice est déjà employé sur plusieurs vaisseaux, et comme pour chacune de ses paires d'ailes il a le mécanisme employé depuis longtemps pour en tourner une seule, il n'y a pas de craintes à éprouver sur sa réussite.

HÉLICE DE M. MANGIN.

La seconde modification dont il a été question est due à M. Mangin, ingénieur de la marine. Si elle confirme par l'expérience ce que ses premiers essais ont montré, elle est destinée à être préférée à toute autre disposition. M. Mangin suppose une hélice ordinaire et à deux ailes, coupée en deux, ainsi que son moyeu, et que ces deux moitiés tournant un peu sur leur arbre, viennent se placer l'une devant l'autre comme le montre la figure 14, pl. IX. Rien n'est plus simple et la surface présentée à l'eau est aussi grande qu'avant la séparation ; elle agit même aussi efficacement, car les deux fractions d'ailes rencontrent plus d'inertie, en ce qu'elles arrivent plus directement sur une eau que rien n'a encore touchée, que ne le fait la partie postérieure d'une aile ordinaire. Cette

hélice a été essayée à bord du *Marceau*, en lui donnant le même pas et la même surface qu'à celle en bronze; ses résultats ont été aussi satisfaisants sous le rapport de l'utilisation et de la marche du navire, quoiqu'elle fût en fonte de fer. Mais elle a présenté un fait auquel on était loin de s'attendre et qu'on n'a pas expliqué : c'est une tranquillité de mouvement que toutes les personnes embarquées ont remarquée; au lieu des trémitations violentes et continuelles de l'hélice à deux ou à quatre ailes : le navire ne se trouvait pas plus remué que par des roues à aubes. Ce fait est très-important en ce que les trémitations délient l'arrière et y occasionneront des voies d'eau, avant qu'il soit arrivé à un état de vétusté exigeant de grandes réparations. En outre, si le principe établi par M. Mangin est susceptible d'extension et qu'on puisse diviser une aile en trois, quatre ou cinq parties, on arriverait à ne pas donner à l'ensemble plus d'épaisseur qu'à l'étambot et à le renfermer entre des vannes ponr marcher à la voile, ou à le hisser par un étambrai long mais étroit, puisque la cage ne serait pas plus longue qu'actuellement. Dès lors l'arcasse ne serait plus découpé et le passage de la marche à la vapeur à celle à la voile deviendrait d'une facilité remarquable. Il est donc à souhaiter que les idées de M. Mangin soient le plus tôt possible confirmées par l'expérience; afin de s'empresser de les adopter pour rendre aux arrières lenr ancienne solidité.

ÉTAMBOT DES NAVIRES A HÉLICE.

Quel que soit le système qu'on adopte, l'étambot du gouvernail sera toujours la partie faible des navires à hélice, surtout lorsqu'ils sont construits en bois, car pour ceux en fer il est naturellement solide. Aussi l'on a cherché à lier cette pièce importante et pourtant presque sans appui, au moyen de fortes armatures en bronze *k'k'*, (fig. 1 et 21), *nn* et *pp*, (fig. 3, pl. IX), tant au poiut de réunion avec le navire qu'à celui avec la quille. Tout cela suffira pour la navigation, tant que le navire n'aura pas trop pris d'arc; mais ces moyens de liaison ne résisteraient ni au boulet, ni à la vétusté, ni au moindre coup de talon. Aussi est-il à regretter que sous ce dernier point de vue les avantages des grands diamètres se soient jusqu'à présent opposés à ce que la fin de la quille fût de $0^m,30$ à $0^m,40$ en coutre-haut du reste, afin de ne pas se séparer en touchant plus violemment. Les pièces additionnelles en bronze sont très-lourdes, elles ont même été exagérées et en augmentant le poids

déjà considérable de l'hélice et de ses accessoires, elles causeraient plus de fatigue que de liaisons utiles. Il y a donc là nne limite difficile à fixer et que l'expérience seule parviendra peut-être à déterminer. Elle fera connaître également si le bronze, ou des alliages analogues, sont préférables à ceux d'une nature plus liante et même au cuivre rouge, et s'il ne vaudrait pas mieux en cas d'avarie que les pièces additionnelles ployassent en continuant à maintenir les parties réunies : car mieux vandrait un étambot de travers, mais encore lié à la quille que de le voir ne plus tenir que par la tête; dans son état actuel, la moindre mer l'enlèverait avec le gouvernail. Pour soutenir l'arrière entier et le lier au reste du navire, on a eu l'idée de l'entourer de bandes de tôle épaisse formant une préceinte additionnelle : cette liaison est certes utile, mais elle ajoute encore au poids. M. Labrousse a proposé un étambot en cuivre rouge chaudronné appliqué sur l'arrière et relié à la charpente en bois par nne grande surface et de nombreuses attaches. Il pense que ce métal n'a pas le défaut de se désagréger à distance sous le choc du boulet comme le bois ou la tôle; de sorte qu'un étambot en cuivre de $0^m,80$ seulement dans le sens de la quille recevrait plusieurs atteintes sans être affaibli. En outre, le cuivre permet des réparations assez promptes et très-solides qui seraient impraticables avec le bois, et cette sorte d'étambot serait rendue légère en la faisant étanche et en pompant l'eau intérieure. On corrige en partie le manque de solidité de l'étambot en reportant le puits vers l'avant, de manière qu'au lieu d'une épaisseur de bois de $0^m,80$, on ait maintenant jusqu'à $1^m,80$, et sur des navires à façons fines et à tirant d'eau considérable relativement au diamètre de l'hélice, je présume qu'il y aurait avantage à le reporter encore plus en avant, de manière à noyer complétement l'orifice inférieur du puits, à donner à la barre une longueur suffisante et snrtout à faire l'étambot tellement épais, dans le sens de la longueur du navire, qu'il rentre presqne dans les conditions habituelles.

POSITIONS DES MACHINES.

L'adoption de l'hélice a complétement changé la disposition des machines à vapeur marines, pnisqu'au lieu de mouvoir nn arbre placé en travers et à la partie supérieure du navire, elles en font tourner un situé très-bas et parallèle à la qnille. La différence des vitesses de rotation a occasionné aussi des dissemblances encore plus grandes entre les

appareils moteurs, et force encore souvent à se servir d'engrenages. On voit par les descriptions succinctes, données dans la première partie, pages 170 et suivantes, ainsi que par les figures des planches I et II, quelles variétés de combinaisons les ingénieurs ont inventées pour arriver au même but (voy. p. 155). Ils ont été conduits tantôt par le respect des anciennes habitudes (voy. p. 171, 172, et note de la page 256), tantôt par un esprit de hardiesse bien entendu, et ils ont aussi changé suivant les conditions des navires et de leur marche. Ainsi pour ne pas accélérer le va-et-vient des pistons, les engrenages ont été employés là où d'autres ingénieurs mettaient des mouvements directs; d'autres fois on est revenu aux engrenages lorsque la grande rapidité de rotation, nécessitée par le petit diamètre de l'hélice et un grand sillage, forcent à y recourir : telle est la machine du *Faon* (pl. V, fig. 3 et 4) construite par M. Penn, qui cependant a fait les machines directes les plus puissantes et du mouvement le plus rapide, dont l'usage est tous les jours plus répandu : ce sont celles à fourreau, représentées pl. VI. Ces grandes vitesses de piston ont, en général, effrayé le commerce, parce qu'à moins d'être d'une solidité parfaite et d'une confection aussi exacte que des pièces d'horlogerie, ces machines supportent plus difficilement un travail prolongé, et qu'elles exigent d'être conduites par des hommes d'une capacité supérieure. Les navires à longs trajets ont donc en général préféré les mouvements lents, et ont adopté une partie des appareils à engrenages, représentés pl. I, et avec plus de détail pl. VII. M. Bourne explique les avantages des appareils directs, et en conseille l'usage page 172; il indique ainsi la bonne voie; mais pour certains navires, il ne faut pas y entrer trop tôt, et il convient d'agir comme pour les chaudières tubulaires, qui, malgré leurs qualités, n'ont été adoptées qu'avec prudence; parce que leur délicatesse les expose à des chances d'avaries qne le commerce redoute avec raison, et contre lesquelles il se prémunit, en se soumettant à des appareils moins énergiques, il est vrai, mais plus sûrs, parce qu'ils sont plus faciles à conduire. A mesure que la confection est devenue meilleure, et surtout que la direction a été plus intelligente, les machines à grande vitesse ont moins effrayé et ont été d'un usage plus général.

La puissance des machines influe sur leur position à bord, ainsi qne sur leur système : si leur force est faible elles se placent dans les façons de l'arrière, de manière à diminuer la longueur des arbres, et alors les cylindres inclinés, tels qne ceux de MM. Stothert et Carlsund, représen-

tés sur les figures de la planche II, conviennent on ne peut mieux : dès le principe on a employé cette disposition à bord du *Robert Stockton*, et, en France, à bord de *la Bretagne*. Mais à mesure que la puissance augmente, cette position dans les varangues acculées n'offre plus assez d'espace; et si le système est très-compacte, tel que celui de *l'Arrogant*, de M. Penn (pl. VI), ou celui du *Duquesne* de M. Mazeline (pl. X), il est encore possible de placer l'appareil entre le grand mât et celui d'artimon. Si la machine occupe trop de largeur, ou que sa grande puissance augmente ses dimensions, il faut la porter à l'avant du grand mât, et avoir un arbre aussi long que la moitié du navire. On emploie chacune de ces dispositions : les navires à petite vitesse et les caboteurs ont leur machine dans les façons : avec plus de sillage c'est entre le mât d'artimon et le grand mât, et enfin les plus rapides consacrent à leur appareil moteur tout le milieu du navire. Plus les trajets sont longs, plus la vitesse des pistons est modérée et la pression moins élevée, afin d'éviter les chances d'accidents. Au contraire, le cabotage a une grande célérité de mouvement, et emploie même quelquefois de vraies locomotives avec des pressions élevées. L'hélice présente donc plus de variétés de combinaisons que la roue à aubes, en ce qu'elle est employée dans toutes sortes de proportions de la puissance motrice au tonnage, et cela parce qu'elle n'est jamais gênée par l'action des voiles. Tandis que les roues à aubes ne peuvent fonctionner convenablement quand le navire incline sous l'effort d'une grande voilure, et leurs proportions obligées les empêchent de se prêter aux petites forces relatives : elles sont forcées d'être assez puissantes pour agir par elles-mêmes quand il y a lieu de lutter contre le vent. L'hélice, au contraire, convient à tout, et se trouve aussi bien assortie au *Napoléon*, avec plus de 1500 chevaux de force, qu'au *Montébello*, avec 120 seulement.

TUBE DE L'ARBRE.

Outre les dispositions générales dont il vient d'être question, la position de l'hélice et son mode d'impulsion en exigent d'autres très-importantes. Car il a été très-hardi de percer l'arrière d'un navire à une assez grande profondeur, pour y faire passer un arbre et transmettre ainsi dans de l'eau la force produite à l'intérieur. On se préoccupait dans le principe de tous ces trous percés dans la carène des navires à vapeur pour prendre ou rejeter l'eau, et plusieurs fois ils ont fait courir de grands dangers; ce-

pendant ils ne renfermaient pas un arbre tournant avec rapidité et communiquant sa force à tout le navire. Avec les constructions en fer, l'exécution de l'arrière n'a pas présenté de difficultés, puisque ce n'était à bien dire que des changements de forme, et que la tôle du tuyau s'unit parfaitement à celle du bord. Mais il n'en est pas de même avec le bois, et au milieu d'une charpente massive découpée pour son passage, le tuyau dans lequel tourne l'hélice ne saurait être uni au bois sur toute sa longueur : il ne l'est qu'aux extrémités, en rabattant ses bords en forme de collet. Comme tout l'espace libre laissé autour de l'arbre pour son jeu est rempli d'eau, jusqu'à ce que le presse-étoupe l'arrête, il est évident que si ce tuyau se perce, ou s'use par le frottement de l'arbre dénivelé, l'eau s'infiltre, et, pour l'empêcher d'entrer dans le navire, il faut que la membrure soit calfatée des deux côtés dans tout le massif arrière, et qu'elle soit mieux jointe que d'habitude. On met ordinairement du mastic entre le tube et le bois; mais jusqu'à présent on n'a employé qu'un seul tuyau. Il paraît cependant que les Anglais ont adopté l'usage d'en mettre deux et même trois l'un dans l'autre, en les joignant au bois aux extrémités, mais en laissant un peu d'espace entre eux, de manière que si l'un d'eux est percé, les autres tiennent l'eau. En outre cette disposition permet de changer les tuyaux intérieurs sans difficulté, tandis que s'il était fendu, il faudrait presque détruire celui adhérent au bois par du mastic. On a toujours soin de donner au tuyau contenant l'arbre quelques centimètres de plus, et de placer ce dernier à toucher le bas du tube lors du montage, parce que l'arc que prend plus tard le navire, le ramènera vers le haut.

PRESSE-ÉTOUPE.

Le presse-étoupe qui entoure l'arbre et empêche l'eau de pénétrer dans le navire, est établi avec le plus grand soin, car sa rupture laisserait entrer une masse d'eau qu'il serait impossible d'arrêter pendant que la machine est en marche. Toutes ses parties sont solides et disposées de manière à céder aux déformations : l'oubli de cette dernière précaution a déjà causé des accidents, en ce que, quelle que soit sa force, le presse-étoupe ne saurait résister à l'effort de l'arbre. Aussi, dans la disposition représentée pl. XI, on voit qu'il est établi sur une plaque, glissant sur une autre plaque en bronze fixée au navire. (Pour plus de détail, voir la description des appareils du *Tourville*.) Il est bon que la couronne du presse-

étoupe ne soit pas trop juste sur l'arbre et que la garniture soit plus épaisse que pour une tige de piston, afin d'avoir de l'élasticité, pour éviter des ébranlements à tout le système. On est actuellement dans l'usage d'employer à cette garniture du caoutchouc très-épais, et on a soin de la graisser au moyen d'un godet placé dans le bois, et dont le tuyau arrive sur la garniture. Afin de la visiter, M. Labrousse a fait disposer sur *le Chaptal* une sorte de puits s' (fig. 5, pl. XIII), situé sur l'avant du presse-étoupe, dans lequel on descend, après avoir remonté l'hélice et bouché la coulisse de l'étambot avant, avec une vanne. De la sorte, le puits est isolé de l'extérieur, et en pompant l'eau, un homme descend travailler à la garniture. M. Labrousse a voulu étendre ce système aux constructions en bois; mais alors il deviendrait beaucoup moins praticable qu'avec le fer, et d'ailleurs on est arrivé à refaire les garnitures par l'intérieur.

L'arbre ne touche le tube à la partie où il sort du navire que lorsqu'il est en porte-à-faux, c'est-à-dire lorsqu'il n'est pas supporté par l'étambot arrière, ou lorsque l'hélice se démonte; mais, avec le système de M. Dupuy de Lôme, il est libre dans le tuyau et n'est soutenu que par le coussinet à coulisse de l'étambot arrière : avec l'embrayage à T, la partie renflée de la fente de l'arbre de la machine est contenue dans une cavité, où elle est soutenue, afin de se trouver de niveau quand l'hélice vient se présenter.

La sortie de l'arbre à travers la charpente des navires en bois présente des difficultés, parce que le fer serait rongé par l'effet galvanique du doublage en cuivre, s'il n'était pas protégé par une couche de ce métal : aussi on fait quelquefois cette portion en bronze. Dans ce dernier cas, l'arbre n'aurait pas autant de force que le fer à diamètre égal, et dans le premier il est difficile d'obtenir une couche de cuivre, qui adhère parfaitement au métal. Toutefois, c'est de cette dernière manière qu'on agit ordinairement, et on coule cette chemise en cuivre rouge sur l'arbre, qu'on a soin de décaper et de porter à une température voisine de celle de la fusion du cuivre. Mais on n'obtient pas toujours une adhérence parfaite entre des métaux dont les coefficients de dilatation sont si différents, et qui sont loin de se refroidir également. Les efforts éprouvés à la surface exposent à faire jouer l'enveloppe en cuivre, malgré les goujons qui la maintiennent, et même à la fendre. Comme dans une pareille partie il n'y a pas lieu de chercher de la dureté, puisqu'il n'y a point de frottement; il serait possible, si ce n'est pas trop dispendieux, de se servir

avec avantage de la galvanoplastie pour déposer cette couche de cuivre, et dans l'industrie on a produit de la sorte des couches assez étendues pour espérer qu'on réussisse. Dans la portion prise par le presse-étoupe, on ne saurait employer le cuivre rouge, il y serait rongé en peu de temps, et on met une couche de bronze coulé autour de l'arbre, de manière à s'étendre jusqu'au dedans du navire, et à se joindre par l'autre bout avec la chemise en cuivre rouge. Il faut s'assurer, quand on le peut, qu'aucune des parties de cuivre n'a été usée par le frottement, car si le fer se trouvait à nu, il serait rongé activement par l'effet galvanique, et l'arbre serait menacé d'être mis hors de service. Aussi, quand on passe au bassin, toutes ces parties importantes doivent être visitées avec soin.

BUTTÉE.

La rapidité du mouvement de l'hélice et la concentration de l'effort sur son axe, présentent des difficultés pour la disposition de la partie destinée à recevoir son impulsion, surtout lorsque l'action des machines est directe et qu'il faut laisser le passage des manivelles. Dans le cas des engrenages, la buttée de l'hélice est formée de deux segments sphériques en acier, encastrés dans le bout de l'arbre et dans une traverse fixée au navire; leurs parties convexes sont en regard, de manière à n'avoir en contact qu'une surface très-rétrécie. Si de la sorte on concentre l'effort sur un très-petit nombre de centimètres, on diminue beaucoup la vitesse de rotation; toutefois, comme sous de telles pressions les pièces s'échaufferaient, on a soin de les arroser constamment par un jet d'eau froide, et ce moyen grossier a réussi jusqu'à présent. Il demande cependant beaucoup de surveillance; car si l'eau vient à manquer, les deux calottes d'acier s'échauffent, au point qu'on en a vu se fondre et rester soudées. Un tel accident entraînerait des avaries très-graves, si la machine n'était aussitôt arrêtée, en ce que si, en se fondant, les grains de buttée permettaient à l'arbre de s'avancer de l'avant, bientôt les dents du pignon ne seraient plus en rapport avec celles de la roue, qu'elles feraient voler en éclats. Ce genre de buttée ne résiste qu'à l'impulsion vers l'avant, et celle dans la direction opposée se fait sur l'étambot, au moyen d'un pivot qui termine l'arbre et tourne sur une savate, au fond d'une sorte de crapaudine fixée à l'étambot de l'arrière. Toutes les fois que l'hélice se démonte, elle n'a pas d'autre point d'appui vers

l'arrière, et, quoique plongées au fond de l'eau, on a vu des buttées de cette sorte, se fondre et s'arracher. L'acier convient seul à la pression excessive des buttées, parce qu'il se durcit par la trempe et que si d'un côté le frottement tend à l'échauffer et à le ramollir, de l'autre le jet d'eau froide lui conserve la dureté nécessaire. A bord de paquebots faisant un service assez actif, les grains de buttée durent six mois, on les change dès que la surface frottante excède $0^m,03$ de diamètre.

La poussée de l'hélice n'est pas aussi considérable qu'on pourrait le croire, et on en a une idée exacte en parcourant les expériences du *Ruttler* et de *l'Alecto* (p. 61 et suiv.); sur *le Napoléon*, l'effort de traction sur un point fixe s'est élevé à 15 660 kilogrammes pour 17,8 coups de piston et 19 120 kilogrammes pour 19,9 tours. Aussi la petitesse de la surface en contact de la buttée fait que chaque centimètre ne résiste à de pareilles pressions que parce que le métal est maintenu très-dur par le refroidissement, et que par conséquent le mouvement de glissement est peu rapide. On a proposé d'injecter de l'huile à travers le grain de buttée fixe : sur un navire nommé *l'Atlas* M. Bourdon a mis en regard deux disques en fonte, avec un jet d'eau comprimé par une pompe, à travers le centre de celui qui est fixe. De la sorte, il y a entre les deux surfaces une couche d'eau constamment remplacée, pour éviter leur contact. On a eu l'idée de séparer l'arbre en plusieurs tronçons, pris dans des palliers et garnis de grains de buttée à chaque bout. Chacun aurait porté un engrenage différent, et si leur nombre est de deux, par exemple, quand l'arbre de l'hélice fera 120 tours, le premier tronçon en fera 80, le second 40, et chacun n'aura qu'une vitesse de 40 tours sur le point du contact : un système d'engrenage, avec des roues dans les rapports convenables, règle les vitesses relatives.

Pour les machines sans engrenage, les buttées de cette sorte sont impossibles à cause du passage des manivelles, et les difficultés éprouvées dans le principe ont même entraîné à faire supporter l'effort par toutes les manivelles, en mettant une buttée ordinaire après la dernière. On eut aussi recours à d'autres moyens, et on adopta d'abord sur *le Chaptal* cinq rondelles en acier placées dans le cadre entre le moyeu de l'hélice et le contre-étambot : des expériences antérieures faisaient espérer qu'ainsi plongées dans l'eau, elles ne se gripperaient pas; mais elles s'usèrent promptement en permettant à l'arbre de rentrer dans le navire, et dès que deux avaient commencé à frotter entre elles, les autres restaient fixes : elles paraissaient rongées par l'eau de mer comme

par un acide, et entamaient l'arbre lui-même. M. Cavé leur substitua, sur la demande de M. Labrousse, une série de galets z' (pl. XIII) portés par trois cercles en bronze rr embrassant l'arbre, et entonrés eux-mêmes d'un cercle en aoicr dont les faces obliques supportent l'effort des galets coniques z. Ils sont montés sur trois rangées, sur des cercles fous sur l'arbre, et leurs axes sont maintenus par des écrous. Les trois anneaux en acier dont nous avons parlé sont entourés de dents d'engrenages, de diamètres différents ttt, engrenant dans d'autres rones uuu, montées sur un arbre fou v et dont les diamètres sont dans des rapports inverses. Toutes sont folles, excepté la plus rapprochée de l'arrière, qui est fixée sur l'arbre et entraîne les engrenages supérieurs, qui font tourner les galets en suivant le mouvement de l'arbre de moins en moins vite. Ainsi, tandis que l'arbre fait, par exemple, 60 tours, le second rang de galets n'en fait que 40, et le troisième 20, tourne ainsi sur la rondelle de l'avant x, qui sert de buttée y, avec une vitesse qui n'est que le $\frac{1}{3}$ de celle de l'arbre. Les galets ont leur diamètre déterminé de manière à suivre ce mouvement sans jamais frotter, et ne faire que tourner. Tout ce système plongé dans l'huile, et abondamment lubrifié, fonctionne depnis longtemps; mais il ne sert pas ponr la marche en arrière, ce qui est, du reste, inutile avec le système d'embrayage du *Chaptal* et de toutes les hélices qui se démontent, puisque le cadre seul retient le propulseur dans le sens de la marche en arrière. Si, au lieu de galets, on avait seulement des anneaux appuyant les uns sur les autres avec des mouvements différentiels commandés par les engrenages, on arriverait, en les multipliant, à des mouvements assez lents pour éloigner toute chance d'échauffement.

Toutes ces méthodes ont été remplacées par celle beaucoup plns simple de conserver autour de l'arbre do nombreux collets, comme des filets de vis, carrés et sans pas, pris entre deux conssinets présentant des creux aux saillies de l'arbre. L'effort est ainsi distribué sur une suite de surfaces, et cbacune ne portant qu'une fraction de la poussée, ne s'échauffe pas malgré la rapidité du mouvement. L'impulsion en avant est ainsi maintenue anssi bien que celle en arrière. Ce procédé si simple est devenu d'un usage général, et il convient aussi bien aux hélices mues par des engrenages qu'à celles directement articulées aux macbines. Il avait été proposé par M. Mazeline, pour la frégate *la Pomone*, en 1847, et il se trouvait tout à fait à l'arrière de l'hélice; ses seize collets diminuaient de diamètre vers l'arrière et se trouvaient pris dans une cbaise

fixée à l'étambot du gouvernail. Cette disposition ne fut pas adoptée parce qu'elle ne permettait pas de démonter l'hélice. L'ouvrage de M. Bourne donne un croquis de la buttée actuelle, page 197, et un plan exact de tous les détails se trouve pl. XI, tandis que la description en est donnée à la fin de celle de la machine des vaisseaux *le Duquesne* et *le Tourville*.

EMBRAYAGE.

A tous ces moyens d'assurer le fonctionnement de l'hélice, il a fallu ajouter celui de séparer à volonté la machine et le propulseur, lorsque ce dernier devient inutile ou nuisible pour la marche, et cette addition au mécanisme est indispensable quand l'hélice ne se démonte pas; car si quelque avarie, ou le manque de charbon, force à stopper la machine, l'hélice ne saurait rester fixe et condamner le navire à ne marcher que très-lentement. En outre, la facilité de mouvement de l'hélice dans l'eau, et le peu de vitesse qu'elle fait perdre rendent encore plus utile de l'affoler, et nous avons vu qu'on avait jugé que c'était suffisant, et qu'il était inutile d'élever l'hélice hors de l'eau. Les premiers embrayages ont été formés de deux plateaux en regard, clavetés sur chacun des bouts des arbres et unis à volonté par des sortes de cales en fonte placées dans des cavités rectangulaires des deux plateaux, ou plutôt par des boulons introduits à la main dans des trous un peu cônes, et serrés ensuite par une clavette pour les faire entrer et les empêcher d'avoir du jeu. Ces procédés exigent que les cavités ou les trous soient exactement en regard, et que les plateaux soient fixes. Pour obtenir cela du côté de l'hélice, le plateau de l'arrière a une partie plate et tournée sur laquelle porte une bande d'acier, fixée au navire par un bout et fortement tirée par une vis à l'autre extrémité, afin de produire un frottement violent sur le disque et de l'arrêter à volonté. Avec grosse mer, ce moyen est quelquefois insuffisant, et l'arbre tourne par saccades, de sorte qu'il est très-difficile de présenter les boulons. Sur *le Chaptal*, M. Cavé n'a point mis d'embrayage, parce que la facilité de démonter l'hélice a été regardée comme suffisante; mais sur *l'Isly*, où le propulseur ne se démonte pas, il a employé un embrayage en fonte (fig. 4, 5, 6 et 7, pl. XII), à empreintes *aa* appartenant à un plateau et s'enfonçant dans des cavités semblables *bb* d'un autre. Le plateau de l'arrière *cc* est claveté sur l'arbre; mais

celui de l'avant glisse et est maintenu, suivant la rotation, par des nervures *dddd* enfoncées dans l'arbre. Le mouvement est opéré au moyen d'un anneau *ee* embrassant le manchon à frottement doux, dans une rainure circulaire. Cet anneau entraîne le manchon, suivant l'axe de rotation, au moyen du double levier *efef* tournant sur un axe *gg* porté par de petits paliers boulonnés sur le navire. Un palan attaché au bout du levier presse le plateau mobile contre celui qui est fixe, et force les saillies à entrer dans les vides pour unir les mouvements, ou à en sortir pour rendre l'hélice folle. Cet embrayage est très-simple et assez solide; mais comme de la sorte les surfaces en contact sont peu éloignées du centre et supportent, par conséquent, de très-grands efforts, on a cherché à diminuer les chances de rupture qui en résultent, en éloignant ces points de contact du centre, et l'on s'est encore servi de plateaux, l'un fixé sur l'arbre de l'hélice et l'autre glissant sur celui de la machine. Ce procédé est détaillé planche XI et dans le cours de la description de l'appareil de M. Mazeline. Enfin, à bord du vaisseau *le Napoléon*, où la grande puissance exigeait plus de précautions, on a disposé l'embrayage comme le montre la figure 24, planche IX : *efgh* est un plateau de fonte clavetté sur l'arbre de l'hélice H; il a, entre deux collets, une partie cylindrique sur laquelle appuie un frein à frottement pour arrêter l'hélice et maintenir le plateau *efgh* à la position voulue. Le second plateau *abcd* est clavetté sur l'arbre de la machine M; il est percé de quatre trous cylindriques semblables à ceux en ponctué *iii* du plateau de l'hélice, et dans chacun desquels glisse un gros boulon *kkk*, de manière à réunir les deux plateaux lorsqu'ils entrent dans les trous de celui de l'hélice et à les laisser séparés dans la position représentée figure 24. Afin d'éviter qu'un seul boulon ne supporte tout l'effort, pendant quelques instants les quatre boulons *kk* sont fixés à un plateau *nn* qui, au moyen des vis *oo*, est éloigné ou rapproché de manière à faire entrer ou sortir tous les boulons à la fois. L'action de ces vis est rendue simultanée au moyen du pignon *p* de chacune d'elles, engrené dans une roue dentée commune. Afin d'amener le plateau *abcd* à la position voulue, il est creusé par des dents obliques, dans lesquelles engrène une vis sans fin *v* dont la tige se prolonge dans le faux-pont, et est tournée par un petit cabestan. Cet embrayage est très-solide, mais sa manœuvre n'est pas aussi prompte qu'il le faudrait, car les vaisseaux étant destinés à naviguer de conserve, le retard de l'un est éprouvé par tous les autres, et le changement de marche de la

voile à la vapeur, ou réciproquement, ne saurait s'opérer avec trop de rapidité.

MANCHONS.

Pour n'omettre aucun des détails relatifs à l'installation de l'hélice, nous parlerons du mode de réunion des différentes parties de l'arbre. Ordinairement, c'est au moyen de manchons en fonte *mm* (fig. 8, 9 et 10, pl. XII), formés de deux parties réunies entre elles par des boulons passés dans des collets *nn*. Ils sont ronds, et ont, ainsi que l'arbre, deux, trois ou quatre rainures parallèles à l'axe, dans lesquelles s'encastrent de longues clavettes *oo*, dont le tiers de l'épaisseur environ entre dans le métal de l'arbre et les deux tiers dans la fonte; de la sorte, les portions d'arbre sont réduites à des longueurs qui ne gênent pas trop leur introduction dans le navire. Pour que l'arbre puisse obéir un peu à l'arc du navire, on a fait ces manchons un peu plus larges aux extrémités qu'au milieu, et on a également creusé les rainures, afin que si les deux parties ne sont pas en ligne droite, elles jouent dans les manchons. Un tel procédé est insuffisant, et la petitesse des surfaces en contact les soumet à de si grands efforts, que le moindre mouvement les rongerait. Mieux vaut avoir recours à l'ingénieux joint universel représenté planche XI. Les manchons ont été faits carrés, ainsi que l'arbre, lorsque ce dernier se rentre pour la manœuvre de l'hélice de M. Sollier, ou pour le désembrayage, comme sur *la Pomone*. Dans ce cas, il serait préférable d'élargir les bouts de l'arbre en les rendant plats, afin d'avoir plus de surface, et surtout plus de levier pour la résistance.

PALIERS.

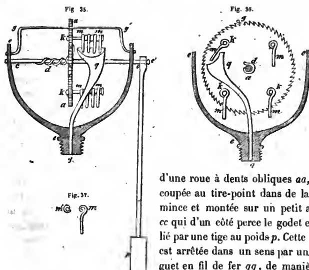
Les paliers n'offrent rien de particulier; ils sont solidement fixés au navire (pl. XI), et quelquefois ils glissent dans des coulisses verticales et ont en dessous des clefs de calage pour ramener l'arbre dans ses lignes, si la déformation du navire l'en a détourné; et si l'usure des coussinets a produit le même effet. Pour ce dernier cas, on a soin d'avoir des jauges faisant connaître la position de l'arbre par rapport à la base des paliers. Ceux-ci sont placés près des manchons de réunion, dont il vient d'être question, et en avant ainsi qu'en arrière de l'embrayage et du joint brisé, quand il est employé, afin de soutenir l'arbre près des points, où il exerce des efforts obliques.

GRAISSAGE.

La rapidité du mouvement de l'arbre dans ses coussinets et les pressions occasionnées par les déformations du navire rendent le graissage de cet arbre au moins aussi important que celui de la machine. Il est ordinairement opéré par des godets avec des mèches en coton ; ce moyen grossier ne fournit pas avec certitude la quantité d'huile nécessaire, et les frottements des parties, où il n'y a pas toujours des chauffeurs, sont exposés à s'échauffer beaucoup sans qu'on le sache. Il serait donc préférable d'avoir des procédés mécaniques de verser de l'huile, et pour ces mouvements rapides le meilleur serait, je crois, d'avoir dans l'intérieur des coussinets deux conduits débouchant vers le bas, et servant au passage d'une chaîne sans fin, portant vers le haut sur l'arbre et plongeant en dessous dans l'huile. Le mouvement entraînant la chaîne amène d'autant plus d'huile à la partie supérieure de l'arbre qu'il est plus rapide, et le surplus tombe dans l'auge située en dessous. La chaîne ne va pas au fond de cette auge, afin de ne pas entraîner de cambouis et de ne plonger jamais que dans l'huile limpide. Ce procédé et plusieurs autres semblables ne sauraient être installés que par les fabricants lors de la construction des machines, et il serait souvent impossible de le faire après coup. On ne saurait cependant nier combien il est important d'avoir dans les nouvelles machines rapides, non-seulement des moyens sûrs de graisser abondamment, mais aussi de le faire sans répandre cette huile dans la cale. Il en résulte une imprégnation du bois et une exhalaison corrosive qui, peu sensible sur un navire neuf, devient infecte avec le temps, au point de bleuir les métaux polis, lorsque des pluies font fermer quelque temps les écoutilles. Si c'était une gêne sur nos anciens navires, peu profonds et aérés de toutes parts, ce sera peut-être une cause de détérioration des vivres et même de maladies des chauffeurs sur des vaisseaux à cale profonde, lorsqu'ils deviendront vieux. Les auges placées sur les articulations ne retiennent qu'une partie de l'huile, qui découle le long des bâtis : souvent elle est versée directement par des chauffeurs, qui dans l'obscurité ne trouvent pas le trou du godet, surtout lorsqu'il se meut, et jettent à côté plutôt que dans l'intérieur. Aussi les marins seront reconnaissants envers l'ingénieur qui, prévoyant ces inconvénients, les leur évitera par de bonnes dispositions. Faute de meilleur mécanisme de graissage,

je rappellerai celui que j'ai vu employer sur plusieurs navires anglais, et dont j'ai fait usage.

Ce lubrifieur se loge facilement dans un godet ordinaire et s'assortit aux mouvements les plus rapides comme aux plus lents : il se compose



d'une roue à dents obliques *aa*, découpée au tire-point dans de la tôle mince et montée sur un petit arbre *cc* qui d'un côté perce le godet et est lié par une tige au poids *p*. Cette roue est arrêtée dans un sens par un linguet en fil de fer *gg*, de manière à agir comme un cliquet, et de l'autre elle est entraînée par les mouvements du poids, qui en oscillant fait tourner l'arbre, et par suite la roue, au moyen d'un ressort *d* qui appuie sur elle et qui glisse, quand elle est retenue par le linguet *g*. De la sorte, si une pièce de la machine, ou une saillie disposée exprès, vient à chaque tour butter contre *p*, ce poids oscille et fait avancer la roue de quelques crans. Lorsque rien ne saurait la choquer, on attache cette tige *c'p* à un point fixe ou mobile, suivant le cas, et une ficelle la tire à chaque révolution. Afin d'utiliser ce mouvement pour le graissage, la roue porte sur le côté des pointes rivées *kk* sur lesquelles sont embrochées des tiges *mm* en fil de fer tordu vers le haut pour former un anneau. Quand il y a plusieurs de ces fils suspendus sur une même tige, on les sépare au moyen d'anneaux en fil tordu *m'*. Sur le côté de la roue est un tuyau *qq*, perçant la tige du godet, pour se rendre à la lumière du coussinet, et sa partie supérieure forme une auge oblique découpée

comme le montrent les figures, et de manière à ce qu'en tournant les petites tiges ou larmes *mm* ne touchent pas son bord inférieur, et viennent déposer leur goutte sur la partie la plus élevée. La quantité d'huile à fournir se règle, soit par le plus ou moins de rapidité de la roue, suivant la grosseur du contre-poids et son bras de levier, soit en ajoutant ou retranchant des larmes *mm*, ce qui est facile à effectuer au moyen d'un petit écrou vissé au bout de la tige *k*. Un tel instrument s'exécute sans dépense par les moyens du bord, et il est préférable aux robinets tournants ayant une cavité au lieu de la voie ordinaire, pour ramasser une goutte d'huile et la verser à chaque tour. Cette cavité se remplit promptement de cambouis, ne contient plus d'huile et expose à des échauffements.

Les coussinets situés dans l'eau ne sont pas toujours graissés, à cause de la difficulté de faire descendre l'huile. Quand les hélices se démontent et que les frottements sont sur du métal doux, ce graissage est peu important; mais avec les hélices inamovibles il l'est au contraire beaucoup, et on a vu des pièces se fondre dans l'eau. Je crois qu'on parviendrait à leur fournir de l'huile en mettant la lumière du coussinet en dessous au lieu d'être en dessus, et en y amenant cette huile par un tuyau recourbé. La colonne située hors de l'eau ferait descendre l'huile, et une fois à l'orifice du tuyau, elle tendrait, par sa légèreté, à pénétrer dans les coussinets, comme elle le fait par son poids à l'air libre, avec la lumière en dessus.

Le presse-étoupe a aussi besoin de graissage; car s'il est un peu serré, la partie intérieure, qui ne reçoit pas d'eau, est exposée à s'échauffer, et à se détériorer, si elle est en caoutchoue. On y fait arriver de l'huile par un trou percé dans le bois, dans le presse-étoupe et dans sa couronne. Quand on n'a pas cette ressource, on desserre un peu la garniture, afin que l'eau, en s'infiltrant, s'interpose entre les parties frottantes et empêche leur échauffement.

MODÉRATEUR CENTRIFUGE.

Enfin, il y a une précaution fort utile pour la sécurité des machines à hélice, et qui les arrête si une rupture d'ailes ou de dents d'engrenage les laisse s'emporter avec une rapidité dangereuse; c'est l'application du pendule conique ou modérateur centrifuge, usité pour toutes les machines de terre, dont le mouvement doit être régulier, tandis qu'au contraire

la résistance est inégale. C'est grâce à cet instrument qu'une machine puissante n'acquiert pas de vitesse, quand rien ne s'oppose plns à sa force. On le voit ponr les laminoirs, où, sans changer de vitesse, les cylindres tournent tous inoccupés pendant longtemps, pour travailler ensnite à écraser le fer. Sur mer, ce n'est pas la régnlarité de rotation qu'il s'agit d'obtenir, et le but est toujours de marcher le mieux possible ponr le charbon brûlé; mais c'est la trop grande rapidité de mouvement qu'il fant éviter. Avec les roues ce n'était pas nécessaire, parce qu'excepté vent arrière, le monvement était régulier, et si le roulis les faisait travailler alternativement, la machine n'en éprouvait pas moins la même resistance. En outre, les chances de rnpture n'étaient que partielles et ne changeaient pas beaucoup la surface présentée à l'eau dans une révolution. Mais avec l'hélice la rupture d'nne aile réduit la surface agissante au quart, au tiers, ou même à la moitié, la résistance est diminuée d'autant, et la machine s'emporte; bien plns, elle concentre tonte sa force sur les parties restantes, et s'il n'y a que deux ailes, l'effort sur celle qui reste est double. Les chances d'une rupture totale sont donc imminentes et seraient désastreuses, si l'adresse et la présence d'esprit des mécaniciens ne parvenait à stopper. En effet, dans une machine qui s'emporte, il y a non-seulement à redouter les chocs violents d'nn va-et-vient trop précipité, ou la mitraille des dents lorsqu'il y a des engrenages, mais surtout un appel de vapeur très-considérable, puisque dans le même temps les pistons engendrent de beaucoup plus grands volumes. Dès lors la vapeur entraînée diminue la pression dans la chaudière, et l'eau, imprégnée de la chaleur d'une tension plus élevée, bout avec violence, se sonlève et, entraînée par le courant, pénètre dans les conduits pour se rendre aux cylindres. Là elle oppose un obstacle au monvement du piston : car elle n'est pas détruite par la condensation comme la vapeur, et à la fin de la course elle est renfermée entre le piston et le fond du cylindre, sans pouvoir sortir, puisque c'est le moment où l'orifice du tiroir est fermé. Dès que la quantité d'eau est considérable, la soupape du fond du cylindre est insuffisante, et l'eau jaillit à travers les joints des couvercles, au risque de les briser, ainsi que les articulations. Il y a eu des cylindres défoncés par cette cause, et avec les pressions en usage maintenant cette voie onverte suffirait à la vapeur pour envahir la chambre des machines et bouillir des chauffeurs, comme le ferait un déchirement de chaudière par vétusté ou par excès de pression. Il faut donc empêcher une machine de s'emporter par suite d'une rnpture d'aile ou d'engrenage, où encore

par l'émersion de l'hélice sur un navire long et à petit tirant d'eau. Or, puisque le modérateur rend la rotation régulière, il peut aussi en limiter la rapidité, en n'agissant qu'au delà d'une certaine vitesse. Pour s'en rendre compte, il suffit de considérer la manière dont il est disposé et dont il opère. Il est formé de deux boules portées chacune au bout d'un bras a charnière sur un arbre vertical entraîné par la machine : si la rotation est plus rapide, les boules s'écartent davantage à cause de la force centrifuge. Pour utiliser ce mouvement, les tiges précitées en portent d'autres articulées par un bout au milieu de leur longueur, et par l'autre à un anneau qui entoure l'axe de rotation. Les quatre tiges forment ainsi un losange articulé à ses quatre angles, et si les boules s'écartent, elles soulèvent naturellement l'anneau : celui-ci porte des tiges disposées suivant les localités, pour ouvrir ou fermer le registre de vapeur, et régler ainsi la marche de la machine. Le mouvement est donné à l'axe de rotation de l'appareil par des engrenages, des courroies ou des cordes, et il y a souvent plusieurs poulies, pour changer le rapport des vitesses.

Le modérateur est réglé de manière à ce que ses boules soient à moitié écartées pour la marche normale ; à bord, il doit occuper cette position pour la marche la plus rapide, et tenir alors le registre ouvert, afin de ne pas entraver l'arrivée de la vapeur, et de ne commencer à tourner le registre que si ce point est dépassé, pour le fermer tout à fait et arrêter la machine, si elle s'emporte au delà des limites. Quand l'appareil tourne plus lentement, il n'a aucune action et laisse un passage libre à la vapeur. Il n'y a pas de danger à stopper ainsi, comme il y en aurait quelquefois à déclancher, en ce que l'on empêche seulement la vapeur d'entrer dans les cylindres et de presser. De la sorte le piston, entraîné par les renvois de mouvement et par l'hélice, qui agit comme une aile de moulin à vent, est libre de parcourir le cylindre dans une sorte de vide, au lieu d'opposer toute sa force à la rotation. Pour remettre en marche, il suffit de déclancher le modérateur et d'introduire à la main avec prudence. Plusieurs exemples ont montré déjà l'importance de cette précaution : *la Pomone* a cassé une aile, et la machine a été très-difficile à stopper, à cause de la rapidité du mouvement des déclanches. Avec les méthodes actuelles de guider le tiroir, cela n'est pas à craindre, et en tout cas il faut fermer le registre. A bord du vaisseau *l'Agamemnon*, la rupture totale de l'hélice Griffith aurait produit un désastre dans la machine sans l'adresse du mécanicien et sur *le Caton*, celle des dents d'engrenage n'eût pas fait autant de mal, si la machine eût été maintenue dans ses limites naturelles.

M. Penn a déjà employé de la sorte le modérateur sur *le Faon* et sur plusieurs autres navires, et il est à souhaiter que l'usage s'en répande et qu'au besoin les mécaniciens le confectionnent avec les moyens du bord. Pour les détails d'installation, voir l'article du Dictionnaire.

DYNAMOMÈTRE.

L'action de l'hélice s'exerçant suivant l'axe d'un arbre, a permis d'en mesurer la force avec exactitude, et de connaître combien de kilogrammes poussaient un navire. Cette expérience était impossible avec les roues à aubes, parce qu'il aurait fallu tenir leur arbre suspendu et retenu seulement par l'instrument. Mais comme celui-ci demande un peu de jeu, il en serait résulté que les cercles décrits par les manivelles n'auraient plus été parallèles, et qu'elles auraient comprimé violemment la bièle. Au contraire, l'arbre de l'hélice venant presser sur la buttée, il a été facile de faire porter cette dernière sur une tige passée dans la traverse, qui contient le grain. Ce boulon appuie par l'autre bout sur le petit bras d'un fléau de balance placé verticalement, et en dessous est un boulon ou charnière servant de point fixe pour la liaison de la balance au navire. Le grand bras s'élève en dessus et appuie, quand on le veut, sur un toc, afin de porter seul l'impulsion de l'hélice. Son extrémité supérieure est unie par une tige à un ressort en spirale contenue dans une boîte fixée horizontalement, de manière à exprimer les efforts qu'il éprouve par son plus ou moins de flexion. Sa position et sa force sont calculées de manière à ce que le fléau n'appuie jamais sur une partie fixe, quelles que soient les irrégularités de la force. En dessus, la spirale est unie à une tige horizontale ayant plusieurs rainures pour y placer successivement les crayons lorsqu'on veut avoir plusieurs courbes sans les tracer l'une sur l'autre. Quant au cylindre, il tourne autour de son axe comme celui de l'indicateur, au moyen d'un renvoi de poulies et de cordes joignant son mouvement à celui de l'arbre, de manière à le rendre plus lent : les poulies se changent à volonté, pour modifier le rapport des vitesses du cylindre et de l'arbre. Une feuille de papier entoure ce cylindre; on y trace une ligne exprimant le zéro. Il résulte de cette disposition que le papier tourne dans un rapport connu relativement à l'arbre, suivant les relations des diamètres des poulies, et que le levier, maintenu par le ressort, cède à l'impulsion et trace par son crayon une courbe, dont la distance à la ligne zéro exprime l'impulsion de l'arbre d'après le rapport connu des bras de le-

vier et les quantités dont le ressort cède pour un effort mesuré. L'action de l'hélice étant loin d'être uniforme, la courbe ainsi tracée est une série de zigzags montrant toutes les inégalités de l'impulsion, ainsi qu'on le voit sur les figures de la planche IV. Comme cette forme dentelée empêche d'avoir la distance à la ligne zéro; on divise celle-ci en un grand nombre de parties, de manière à ce qu'elles ne répondent pas régulièrement aux inégalités de la courbe, on prend les distances pour les marquer à chaque division, et on calcule la moyenne comme on le voit planche IV. Ces calculs ne se font qu'après avoir enlevé le papier, comme lorsqu'il s'agit de l'indicateur. Cette méthode de mesurer la poussée est aussi exacte que celles en usage pour tous les grands efforts, et elle permet d'apprécier parfaitement la manière dont fonctionne l'hélice. Aussi on trouve beaucoup d'intérêt à parcourir les explications de M. Bourne au sujet des expériences du *Rattler* et de *l'Alecto* (p. 60 et suiv.).

Pour calculer le travail de l'hélice, employée à l'impulsion du navire, on prend la moyenne des tracés du dynamomètre, en les corrigeant des bras de levier de la balance, et leur appliquant l'effort mesuré pour la flexion du ressort : on a ainsi celui exercé sur la buttée. Si, par exemple, c'est 3764 kilogrammes, et que la vitesse du navire soit de 9,9 : on établira que le sillage en mètres par seconde est de $5^{m},08$, qui, multiplié par la pression exercée, et divisé par 75, donne 255 chevaux de 75 kilogrammètres. C'est ainsi qu'ont été calculés tous les résultats des courbes de la Pl. IV, mentionnés page 61 et suivantes. Il est intéressant de comparer ce résultat à celui produit par la vapeur sur le piston, et mesuré par l'indicateur, c'est ce qu'on trouve sur les figures de la planche III; mais de la sorte, la différence des deux résultats ne donne que la somme des pertes éprouvées par la machine, tant pour ses frottements que pour ses fonctions, et de celles de l'hélice elle-même, sans qu'il soit possible de savoir d'une manière précise quelle part faire à chacune. Le travail d'un arbre est mesuré, pour de petites puissances, au moyen du frein de M. Prony, dont l'usage journalier prouve l'utilité; mais comme cet instrument n'est lié à l'arbre qu'au moyen du frottement de ses coussinets en bois sur un plateau, il ne convient qu'à des efforts auxquels le frottement est capable de résister, c'est-à-dire à celui des machines de 20 chevaux environ, et sur mer nos puissances sont trop grandes pour être mesurées de la sorte. On a donc été réduit jusqu'à présent à calculer la force des machines par des formules inexactes, dès que les conditions

de fonctionnement changeaient ; ou par les efforts mesurés sur le piston, au moyen de l'indicateur, sans avoir d'autres éléments que les analogies vagues des petites machines éprouvées au frein, pour savoir quelle part devait être faite aux frottements, à l'inertie des pièces mouvantes, aux diverses fonctions des machines; c'est-à-dire quelle était la perte de force éprouvée, entre son action première dans le cylindre et son application sur l'arbre. En outre, avec le frein de Prony, on ne mesure pas le travail pendant qu'il s'opère, mais on le remplaçant par celui exercé sur le frein, tandis que la machine est autant que possible dans ses conditions habituelles.

Lorsque la buttée des arbres directement articulés aux machines est formée d'une suite de collets ou d'anneaux comme on le voit décrit pages 197, 332, et parmi les détails de la machine du *Duquesne* il devient possible d'employer le dynamomètre à levier comme pour les appareils à engrenage. Alors on permet un peu de mouvement au massif qui renferme les collets, afin qu'il glisse sur sa plate-forme et fasse porter tout l'effort de l'hélice à la balance, comme cela se présente avec la buttée d'un arbre à pignon.

DYNAMOMÈTRE DE M. TAURINES.

Un nouvel instrument vient de permettre de mesurer avec exactitude les forces des plus grandes machines, pendant qu'elles produisent leur travail, et de distinguer les pertes dues d'un côté à la production de cette force par la machine, et de l'autre à son emploi par le propulseur. Il mesure exactement la puissance de l'arbre lui-même; de sorte que la différence de ce résultat à celui de l'indicateur, donne d'un côté les pertes de la machine, et de l'autre celle imputable à l'hélice, par la différence avec l'impulsion produite sur le navire. C'est aussi un excellent moyen d'apprécier les qualités des différentes hélices, puisqu'il montre réellement la quantité de force qu'on leur a donnée et qu'il met de côté toutes les incertitudes des calculs. Cet instrument ingénieux est dû à M. Taurines, et il est formé de deux bras, doubles ou balanciers, clavetés chacun sur un des bouts de l'arbre, à l'une de ses interruptions, d'une manière semblable à celle des plateaux du joint brisé de M. Mazeline, représenté, Pl. XI : chacune des portions de l'arbre est maintenue dans un palier. Les bras, dont il vient d'être question, sont placés d'équerre et joints par leurs extrémités avec des ressorts plats plus

minces au milieu qu'aux bouts et fixés dans les extrémités des bras. Ces lames d'acier ont une courbure dont elles ne s'écartent que si en cherchant à changer d'angle les bras, on tire sur elles, ou si on tend à les comprimer : l'instrument est disposé pour qu'elles agissent plutôt par traction. Quand l'arbre des manivelles tourne, il n'entraîne donc celui de l'hélice qu'au moyen de ces lames d'acier, dont la déformation sert de mesure à l'effort, comme celle d'un ressort quelconque. Pour connaître cette déformation, chaque ressort porte à son milieu une traverse, et les extrémités de ces deux nouvelles pièces sont réunies par des lames d'acier, de manière à entourer la première partie du mécanisme. Il en résulte que si les traverses tendent à se rapprocher, parce que les premières bandes cherchent à devenir droites, les nouvelles bandes, au contraire, se courbent et mesurent aussi l'effort par leur déformation. Elles attirent de la sorte un ressort auquel est fixé un crayon tournant avec les arbres, ainsi que tout le système précédent, et traçent une courbe sur le papier d'un cylindre fixe placé autour de l'arbre. Un second crayon, entraîné par le mouvement général, trace sur le papier la ligne de zéro, c'est-à-dire celle répondant au point où aucun effort ne tend les ressorts, et les ordonnées de la courbe relativement à cette ligne, donnent la somme des efforts pendant une rotation : elles marquent par leurs ressauts les inégalités de la résistance, comme celles dont il a été question, montrent celles de la poussée. Relativement aux forces qu'il mesure, cet instrument est très-délicat, et sa rupture exposerait à de graves avaries, si on n'était prêt à stopper, ou s'il n'y avait pas à bord de régulateur centrifuge. Il donne de très-bons résultats avec les machines équilibrées de manière à ce que leur effort de rotation soit uniforme; mais il est à craindre qu'il n'en soit pas de même avec les appareils n'ayant que deux manivelles avec des bielles très-courtes, et même dans ceux dont les manivelles, quoique au nombre de quatre, sont calées à angle droit. M. Taurines a déjà obtenu des résultats très-exacts dans divers ateliers, et il a utilisé son dynamomètre pour une série d'expériences très-curieuses sur diverses formes d'hélices et différentes proportions de diamètres aux pas et aux surfaces : il a employé un de ces appareils sur la machine du *Primauguet* et va même en exécuter un pour le vaisseau à trois ponts *la Bretagne*, dont la machine développera certainement plus de 2000 chevaux. Il aura résolu ainsi un problème impossible jusqu'à ce jour, celui de mesurer exactement les plus grandes forces que nous puissions produire.

CHAPITRE III.

NAVIRES A HÉLICE EN ANGLETERRE.

En parcourant les détails et les tables d'utilisation donnés par M. Bourne sur les navires à hélice de la marine anglaise, il est facile de voir qu'à l'époque où il écrivait, les idées n'étaient pas encore arrêtées, et qu'on arrivait à peine aux résultats satisfaisants obtenus depuis en Angleterre. On était aussi dans l'incertitude en France; car depuis le paquebot de la poste *le Corse*, et ensuite la frégate *la Pomone*, on resta longtemps sans entreprendre la construction d'aucun navire à hélice digne de fixer l'attention. Cependant un officier anglais, le capitaine Halsted, de la marine royale, publia en 1850 une brochure dans laquelle il résumait d'une manière remarquable les véritables conditions du navire à hélice. Il analysait clairement les avantages du nouveau propulseur, et posait des principes précis de la manière dont le navire de guerre mixte devait être conçu. C'est depuis cette époque que la marine anglaise a éprouvé une transformation remarquable, et si ce ne sont pas les opinions du capitaine Halsted qui en ont été la cause, elles en présentent certainement le résumé et méritent par conséquent d'être rapportées. J'y suis d'autant plus porté, que son ouvrage présente ce que, comme marin, j'avais pensé à ce sujet, et qu'il me semble que ces idées justes et utiles, émises par un officier d'une marine aussi avancée que celle d'Angleterre, ont beaucoup plus de force et de chances de produire quelque bien, que si je m'étais borné à les présenter imparfaitement comme miennes. Je vais donc résumer l'ouvrage de M. Halsted et continuer l'analyse de ce qui a été exécuté en Angleterre, jusqu'à ces derniers temps, pour détailler ensuite ce qui a été fait en France, et j'espère parvenir ainsi à présenter l'ensemble de l'état actuel d'une question, qui intéresse à un si haut degré tous les marins.

LA MARINE A HÉLICE PAR LE CAPITAINE HALSTED.

Après avoir énuméré les nombreux défauts des bâtiments à roues, trop connus des marins pour qu'il y ait à les répéter, et avoir rappelé toutes les dispositions tentées inutilement pour trouver à ces navires un arme-

ment convenable et assorti à leur tonnage considérable, le capitaine Halsted montre qu'avec l'hélice tous ces défauts sont évités, que les qualités du navire à voiles cessent d'être perdues, et il observe que les côtés se trouvent dégagés pour y mettre une artillerie formidable. En principe, le navire à hélice doit exécuter tout ce que faisait celui à voiles, c'est-à-dire marcher et évoluer sans machine aussi bien que ce dernier, et avoir même des approvisionnements assez étendus pour accompagner les autres navires à de grandes distances. Si en naviguant de conserve avec des vaisseaux à voiles il éprouve la nécessité de recourir à sa machine, son but est manqué : il use inutilement cette ressource. La voilure est donc très-importante. La frégate *le Dauntless* a un peu plus de longueur qu'un ancien trois-ponts, le tonnage d'une frégate de 50 et la maîtresse section d'une corvette de 26. Sa voilure ne saurait donc être déterminée d'après les anciens principes, car celle de corvette serait insuffisante : elle peut même être accrue relativement à la maîtresse section, puisque la grande longueur augmente la stabilité et permet surtout d'avoir beaucoup de surface de toile placée bas. Comme le tonnage du navire à vapeur et le frottement de sa carène sont plus grands relativement à la maîtresse section, il faut naturellement donner plus de toile que celle calculée par rapport à ce dernier élément. On obtient ainsi autant de vitesse que sur les navires à voiles; sans être forcé d'augmenter le bau, c'est-à-dire la résistance directe. Si les voiles sont utiles dans beaucoup de cas, l'appareil de mâts et de vergues qu'elles exigent devient un obstacle vent debout; il faut donc qu'il soit disposé de manière à disparaître en partie avec promptitude, pour ne pas nuire à l'effet du moteur mécanique. Si dès qu'il lève l'ancre le navire à hélice brûlait du charbon, il tomberait dans tous les défauts de celui à roues. Il faut donc qu'en même temps il égale le navire à voiles en qualités nautiques, et qu'en chauffant il marche aussi bien que le vapeur à roues; dès lors quand des cas exceptionnels le font recourir à sa machine, ses dépenses se bornent à celles du vapeur ordinaire.

Depuis vingt ans on cherche en vain à rendre les navires à roues économiques et à les armer convenablement. Il faut avouer franchement qu'on n'a pas réussi : qu'ils sont dispendieux et très-mal armés. Aussi ont-ils laissé dans les idées une impression défavorable dont le navire à hélice s'est ressenti, parce que lui aussi se nomme bâtiment à vapeur. Et cependant il n'y a, sous le rapport militaire, d'analogie que le nom et l'avantage de se mouvoir de calme. Si l'hélice a permis de rendre le

navire vraiment convenable pour la guerre, sa voilure est seule capable de l'empêcher d'être d'un usage ruineux.

Le second chapitre de l'ouvrage du capitaine Halsted porte un titre remarquable : *Sail power the rule, steam power the exception, in the employement of a screw fleet : La force des voiles la règle, la force de la vapeur l'exception dans l'emploi d'une flotte à hélice.* Ce principe juste et vraiment marin paraît avoir servi de base aux armements des navires de guerre mixtes anglais et l'addition de l'hélice n'a été regardée que comme un moyen d'exécuter ce qui est impossible avec les voiles seules, et cela, quelle que soit la puissance de la machine relativement à la grandeur du navire.

L'Amphyon, *l'Arrogant* en Angleterre, et *la Pomone* en France, sont des frégates à puissance auxiliaire, *auxiliary ships*; leur maximum de vitesse ne saurait être dû à leur machine seule : mais les deux forces sont employées ensemble ou séparément sans jamais se nuir. Sans ces deux conditions, le navire mixte ne saurait remplir son but, car les deux moyens de marcher sont d'autant plus parfaits qu'ils sont plus puissants et qu'en cela ils diffèrent le moins l'un de l'autre. Supposons que le *Plumper*, adopté pour remplacer les brigs sous le rapport de l'armement, ne puisse marcher aussi bien qu'un brig à voiles qu'en ajoutant 20 chevaux de force à sa voilure, il restera de l'arrière, ou sera toujours forcé de brûler du charbon pour produire cette force supplémentaire de 20 chevaux, et il diminuera d'autant chaque jour l'espace que son approvisionnement de charbon lui aurait fait parcourir de calme avec ses 60 chevaux. Un navire mixte doit donc être un bon voilier et même il peut dans ce genre dépasser celui à voiles, lorsqu'il a adopté les proportions de carène des vapeurs et que sa grande longueur lui permet de déployer beaucoup de toile basse, tandis que sa finesse lui fait diviser l'eau avec facilité. La force motrice d'un navire à puissance auxiliaire est telle qu'il n'ait jamais besoin de remorqueur; mais elle est insuffisante pour venir en aide aux autres, dans le cas où on a recours aux remorquages. Le service et la défense des côtes semblent appropriés à cette sorte de navire, et les courants de marée étant les principaux obstacles, leur vitesse sert de règle au sillage : on admet donc qu'il leur faut au moins huit nœuds à la vapeur de calme pour remplir toutes sortes de service.

La forme des carènes a une grande influence sur la marche : ainsi avec un cheval pour 11 tonneaux *l'Adonis* faisait 9',38, tandis qu'avec 1 cheval pour 3',9, *l'Ajax* n'atteignait que 6',45. Avec des formes convenables

on peut admettre qu'un cheval pour 8 tonneaux donne une vitesse de huit nœuds. C'est là le type de l'auxiliaire; tandis que le vapeur à grande vitesse doit avoir un cheval pour 2 ½ tonneaux. En supposant que dans ces deux conditions les navires aient conservé tous les canons et la voilure complète de l'ancien vaisseau, chacun fera usage des voiles seules ou aidera ces dernières par une partie ou par toute sa force motrice, et la différence consistera seulement en ce que celui qui n'a qu'un tonneau et demi pour un cheval, sera capable de faire ce qui est impossible à l'autre. Mais il faudra que tous deux aient des dispositions convenables pour passer promptement de l'usage d'un moteur à celui de l'autre. Il résulte des ressemblances dont nous parlons, qu'il est probable que le même mode de voilure conviendra aux deux genres de navires.

Comme les bâtiments de l'État présentent peu de points de comparaison sous le rapport des puissances auxiliaires, il vaut mieux chercher des exemples parmi ceux de commerce. *Le Sir Robert Peel* et *le Lord John Russel*, ayant 40 chevaux chacun, ont fait quatre-vingt-neuf voyages entre Londres et les ports de Hollande par tous les temps et ont parcouru 45 548 milles avec une vitesse moyenne voile et vapeur de 8',25, et ce sillage est le même que celui sous vapeur seule et de calme. Maintenant pour examiner ce que ferait le navire à grande vitesse, en n'employant qu'une partie de sa force, supposons que les 40 chevaux ont été pris à une machine capable d'en faire 120. Cette supposition ne saurait s'appliquer au commerce, parce que, outre la première mise dehors et l'intérêt d'une grande machine, le surcroît de son poids diminuerait la cargaison; mais il n'en est pas de même pour les navires de l'État et dans la supposition d'une machine de 120 chevaux, le navire qui n'en aurait employé que 40 aurait marché aussi vite que *le Sir Robert Peel*, mais en brûlant moins de charbon à cause de la détente. Si *le Dauntless* n'employait que 182 chevaux sur les 580 qu'il peut produire, ses formes aussi fines que celles du navire de commerce donneraient une marche aussi rapide, et en outre comme il est capable de déployer une plus grande voilure, il marcherait mieux et avec moins de charbon, puisqu'il emploierait la détente. On peut évaluer que sur *le Dauntless* 11 tonneaux de charbon par jour produiront les 182 chevaux qui le mettent à l'état d'auxiliaire et dès lors ses 350 tonneaux le feront marcher vingt-huit jours, et il sera en mesure de parcourir la distance de Portsmouth à Calcutta, pourvu qu'on ne lui demande pas d'employer toute sa puissance. Cela prouve que le navire à hélice à grande vitesse utilise aussi bien sa puissance et

le fait d'une manière plus économique que l'anxiliaire lui-même, lorsque tous deux sont équipés de la même manière, excepté sous le rapport de la force motrice disponible. L'emploi modéré de la vapeur donne aux navires mixtes des vitesses moyennes égales à celles des navires à roues de l'État.

Je suis heureux de retrouver dans un auteur marin et anglais des opinions que j'ai toujours émises (voir *Catéchisme et manœuvrier complet*, seconde partie). J'ai aussi présenté comme un principe que pour la marine de l'État, la grande puissance des machines n'est dispendieuse que pour l'achat, mais qu'elle est économique pour l'emploi, et que si une frégate actuelle de 450 chevaux filant à toute vapeur 9',5, recevait un appareil de 900 chevaux pour ne marcher d'habitude qu'à 9',5, elle économiserait assez de combustible pour indemniser du surcroît de prix de la machine et qu'au moins une telle frégate filerait à 12 nœuds et demi quand on lui en donnerait l'ordre. Si le proverbe *qui peut plus peut moins* est applicable, c'est pour les navires à vapeur à bord desquels faire moins occasionne une économie remarquable. Car la force dépensée pour un trajet donné est en raison directe du carré de la vitesse; c'est-à-dire que pour parcourir une même distance dans un temps double, il n'en coûtera que le quart de la force, c'est-à-dire du charbon, et que ce dernier aura une seconde source d'économie en ce que la détente emploiera mieux la vapeur qui, de son côté, sera produite d'une manière plus convenable par la lenteur de combustion des foyers. Si ces différences de consommation sont peu sensibles sur les anciens vapeurs, c'est qu'on peut établir qu'ils n'ont que le minimum de puissance et leur marche est tellement lente qu'ils resteraient en route si on diminuait leur force; mais pour les vapeurs capables de filer 12 nœuds à toute vapeur, il y a réellement une réduction de plus de moitié, lorsqu'ils ne font que 9', et des trois quarts en ne faisant que 7'; ce qui est encore supérieur à la vitesse des 160, et à peu près égal à celle des 220 dans leur état actuel. Cette impossibilité de marcher vite a fait qualifier les vieux vapeurs de n'être que des navires de 160, de 220, de 450 bœufs; et quand on les compare aux constructions récentes, ils méritent cette dénomination : leurs appareils pèsent 1200 kilogrammes, le cheval nominal, et ne font guère en réalité que les trois quarts de cette force. Aussi n'impriment-ils qu'une vitesse insuffisante pour des navires de guerre. C'est ce qui me fait croire qu'ils ne doivent être considérés que comme le train d'équipage de la marine, unique-

ment propre au transport des troupes, sous la protection des vaisseaux vraiment armés en guerre. Mais revenons aux observations du capitaine Halsted.

Un paquebot est un moyen de locomotion, son effet utile est la distance parcourue et le temps employé à la franchir, et ce résultat est naturellement déduit de la moyenne des traversées. On peut prendre pour comparaison les paquebots à roues de la compagnie Cunard de Liverpool à Halifax : ils ont 1353 tonneaux et 510 chevaux de force, c'est 2^{T},65 par cheval et leur vitesse moyenne sur la carte est 9^{f},16. Les paquebots de Southampton aux Bermudes, aux Barbades et à Saint-Thomas ont 1300 tonneaux et 400 chevaux, c'est-à-dire 3^{T},25 par cheval, et leur marche est de 7^{f},65. *Le Terrible*, navire le mieux armé pour la voilure et l'artillerie, a fait pendant les années 1846, 47 et 48, 15731 milles avec une moyenne de 6,83 nœuds; il a 1847 tonneaux et 800 chevaux ou 2^{T},31 par cheval. Or on a vu que les navires à puissance auxiliaire pris pour types, ont eu 8^{f},25 de vitesse moyenne, ils sont de 320 tonneaux et ont 40 chevaux de force, c'est 8 tonneaux pour un cheval. Il en est de même des *City of Glascow* et *City of Rotterdam* (p. 155). D'après ce qui précède, on peut donc admettre que comparant ces derniers aux vieux vapeurs à roues de la compagnie Cunard, il y a une différence de 11 pour 100 et qu'en se référant aux navires de la *Royal mail* des Bermudes, la différence est de 7,84 pour 100. Enfin, que, relativement au *Terrible*, les navires à hélice ont un avantage de 21 pour 100, et cependant *le Terrible* est un des bons vapeurs à roues de l'État. En se rapportant à la vitesse moyenne, ou effet utile, on voit encore mieux l'avantage des navires à hélice : ainsi pour *le Terrible* l'effet utile de ses machines ou *duty of her engines*, à la vapeur seule est 4,54 milles parcourus pour un tonneau de charbon; tandis que sur les deux auxiliaires il s'élève à 29^{f},87 milles par tonneau brûlé. Ainsi ces derniers ont un avantage de 538 pour 100 relativement au *Terrible*, et si on compare la distance parcourue à la voile ainsi qu'à la vapeur, on trouve encore 100 pour 100 en faveur de l'application de l'hélice comme auxiliaire. L'analyse des traversées du *Terrible* montre que sur les navires à roues l'économie provenant de l'emploi des voiles n'est réalisée qu'au détriment de la vitesse, et que le tonneau de charbon ne fait parcourir que 5^{f},3. Les navires à hélice naviguent à meilleur compte que les schooners à voile employés longtemps; ils font quatre voyages contre un avec la voile dans le même temps, et leur dépense courante a été réduite dans le rapport de 16 à 25 (voir pages 147 et suiv.).

Des deux manières d'employer la vapeur au moyen de l'hélice, la grande vitesse et la puissance auxiliaire, la seconde sera probablement la plus souvent adoptée dans le commerce et dans la marine. Si on renforce les rangs de cette dernière par des vaisseaux à puissance auxiliaire, n'ayant jamais besoin du secours des autres, on doit s'attendre à voir diminuer le nombre de ceux à grande vitesse, qui ne seront nécessaires que tant que les flottes entières ne pourront se passer de toute aide extérieure. Le remorquage de lourds vaisseaux contre des flottes ou des forteresses, les secours apportés à ceux avariés ou engagés par les accidents de la guerre ou du temps, la protection des grands convois ou la sortie des ports de lourds transports, sont; ainsi que beaucoup d'autres, des circonstances dans lesquelles l'auxiliaire ne saurait rendre de services : il se suffit, mais ne saurait aider les autres. C'est au navire à grande puissance que ce rôle est dévolu. En récapitulant les caractères de ces deux sortes de navires, on établira au sujet de leur armement : 1° que maintenant que les côtés dégagés des roues sont armés de canons, et que la machine est mise à l'abri du boulet, il n'existe plus de raison pour ne pas donner au navire à hélice, la même force militaire qu'à la classe de navire qu'il est appelé à remplacer. Pourvu toutefois qu'on ait construit, dès le principe, le navire de manière qu'il porte le poids d'une machine à grande puissance. De tels navires seront nécessairement longs et présenteront un vaste espace pour leur armement; 2° la voilure doit être complète, de sorte que le navire à hélice ayant des formes favorables à la marche, aura naturellement un meilleur sillage; 3° le navire à grande vitesse, jouera quand ce sera convenable, le rôle de celui à puissance auxiliaire, et alors il aura sur ce dernier l'avantage de l'économie, tandis que dans les cas exceptionnels il acquerra une marche rapide.

Dans les circonstances où la vitesse est requise, les navires à hélice n'ont pas besoin d'autant de force que ceux à roues, en ce que les obstacles retardent la marche de ces derniers (voir pages 62 et 65), et diminuent la puissance développée, tandis que l'hélice conserve toute sa force, en la gaspillant, il est vrai. Ainsi, il y a des cas où les 800 chevaux du *Terrible*, n'obtiennent pas plus de vitesse que les 580 du *Dauntless*, mais aussi c'est au prix d'une grande quantité de charbon, de sorte qu'il faudrait pour des trajets, où des obstacles prolongés sont à craindre, que la provision de combustible fût plus considérable. Cette considération est beaucoup plus importante pour le paquebot que pour le

navire de guerre : aussi, aucun moyen de naviguer à la vapeur n'est mieux assorti aux nécessités de la marine, et n'est par le fait plus économique, puisqu'il n'exige que pour les cas d'urgence le surcroît de dépense toujours nécessaire avec les roues. On a prétendu que l'hélice n'était pas assortie aux grandes vitesses, qu'elle empêcherait de gouverner, qu'avec elle on ne marcherait pas en arrière, qu'elle ne convenait pas au mauvais temps, qu'elle occasionnerait des dépenses ruineuses, en ne permettant pas l'emploi de la détente, et qu'elle était tout au plus assortie aux navires à puissance auxiliaire, toutes objections que la pratique a pleinement démenties. Il n'y a, par le fait, entre les navires à force auxiliaire et ceux à grande vitesse, qu'une différence de rapport entre la puissance et la résistance, et les voiles ne doivent nullement servir à les distinguer, puisqu'elles sont également utiles dans les deux cas; tandis que sur les navires à roues la machine est tout et la voilure ne saurait guère être employée qu'en croisière. C'est ce qui fait que les navires à hélice, quelle que soit leur machine, doivent avant tout être de parfaits voiliers. Quand on construisit *l'Archimède*, on laissa de côté toute considération de l'emploi de la vapeur pour lui donner les formes d'un excellent navire à voiles : aussi la seule modification postérieure a été une augmentation de voilure, quoiqu'il fût réellement un navire à vapeur, puisqu'il avait un cheval pour trois tonneaux. Ce fut une compagnie qui fit construire *l'Archimède*, et qui opéra la réalisation pratique de l'hélice (page 29) : elle fit un rapport à sir Robert Peel, pour céder l'usage de l'hélice au gouvernement, et elle basait le montant de la rémunération sur les données officielles de la marine, montrant que l'emploi de 10 000 chevaux avec les roues coûtait 250 000 livres, tandis que, d'après les estimations faites, le même nombre appliqué à l'hélice épargnerait 125 000 livres ou environ la moitié. En outre, les navires restant de parfaits voiliers, épargneraient le combustible pour tous les services généraux.

Le service des paquebots est aussi plus économique avec l'hélice qu'avec les roues; mais il n'a pas la même régularité, et c'est ce qui a empêché d'adopter ce propulseur sur les lignes où la promptitude et la ponctualité ont le plus d'importance. Le capitaine Halsted fait ressortir les avantages de l'hélice, et cite entre autres la ligne des paquebots à voiles du Brésil, remplacés par des navires auxiliaires, moyennant 2sch.,9dr. par mille, tandis qu'il faut donner 12sch.,6dr. par mille à la même compagnie, pour faire le service des Indes occidentales avec des

navires à roues à aubes. Les résultats obtenus par M. Laming (page 154), ont porté l'amirauté à vouloir imposer l'hélice à la compagnie orientale péninsulaire. Il est remarquable qu'autant l'hélice fut adoptée avec empressement à Londres, autant elle parut trouver d'antipathie à Liverpool. Les navires à roues utilisant mal les voiles, sont nécessairement très-grands, afin d'avoir assez de tonnage pour le combustible : ils sont poussés par de très-puissantes machines, puisqu'ils ne tirent point parti du vent, et qu'avec des obstacles à vaincre, leur puissance diminue en raison du ralentissement du piston. Les lettres arrivent plus vite, il est vrai, mais non les marchandises qu'elles demandent, puisque le navire à roues ne porte presque rien. L'hélice produit des conditions inverses, elle permet de porter de fortes cargaisons, mais elle n'arrive pas aussi ponctuellement. Ses voiles lui étant toujours utiles, elle ne cherche pas à lutter directement contre le vent, et elle prend des routes obliques, afin d'utiliser en même temps deux moteurs, qui s'entr'aident au lieu de se contrarier. Le bâtiment à hélice n'est pas forcé de prendre autant de combustible, sa machine est plus légère, et par conséquent il embarque plus de marchandises. De tels paquebots peuvent donc marcher sans subventions, car ils sont par leur système en position de gagner, là où ceux à roues ne feraient que perdre.

On a reproché aux navires à hélice de manquer de ponctualité; tous les paquebots faisant de longs trajets y sont exposés : les deux meilleurs navires de la compagnie Cunard, *l'Hibernia* et *le Cambria*, sur quarante-quatre voyages, varient de 9 jours 15 heures pour parcourir à chaque fois 2550 milles, c'est 106 pour 100. Les variations éprouvées par les meilleurs paquebots prouvent qu'en parcourant de longues lignes il est impossible d'arriver à heure dite, et l'hélice étant soumise aux mêmes chances de navigation, ne saurait pas plus arriver à la ponctualité que les roues à aubes. *Le Bosphorus* et *l'Hellespont*, qui ont 7',91 de moyenne des traversées, vont aussi bien que les paquebots à roues du West India Mail, qui ne filent que 7',61 ; et cependant les premiers sont de petits navires ayant peu de puissance, tandis que les seconds sont de 1300 tonneaux et de 400 chevaux de force : les premiers, qui ne sont que de 530 tonneaux et 80 chevaux, prennent 300 tonneaux de marchandises, et les seconds seulement 70. D'autres faits s'accordent à montrer que les paquebots à roues prennent beaucoup de charbon et peu de marchandises, et que c'est l'inverse pour ceux à hélice et à puissance auxiliaire, qui ont un fret de 22 pour 100 moins élevé.

La réussite des premiers essais de *l'Archimède* fut en partie due à la grande finesse des formes de l'arrière; plus tard, quand on eut commandé à la fois 23 navires d'après des programmes différents, on se préoccupa de nouveau des formes de l'arrière, qu'on avait faites beaucoup trop grosses, parce que l'on voulait armer les navires à hélice comme ceux à roues, par cela seul que les uns et les autres étaient des vapeurs. Cette idée fausse leur fit donner les formes des anciens bateaux à roues à aubes, que la présence des tambours forçait à garnir de canons aux extrémités, et auxquelles il fallait dès lors donner du déplacement dans ces parties, c'est-à-dire de grosses façons; on perdait ainsi tous les avantages de l'hélice, qui dégage entièrement les deux bords et permet de mettre le moteur sous l'eau. En 1846, M. Lloyd, ingénieur en chef de Woolwich, demanda des expériences sur les formes de l'arrière; elles furent faites au mois de mars, à bord du *Dwarf* : on remplit ses façons de l'arrière de manière à continuer les lignes d'eau vers l'avant, et on plaça ainsi trois couches de bordages, mais on ne fit les expériences qu'avec les deux premières : elles réduisirent la vitesse à 3',15 avec 24 tours, et, avec une seule couche, elle fut de 5',75 avec 26,5 tours, tandis qu'en enlevant tout on retrouva la marche primitive de 9',1 avec 32 tours. Ces expériences furent regardées comme concluantes, et elles montrèrent : 1° que les gros arrières nuisaient beaucoup à la marche; 2° qu'ils diminuaient la force développée par les machines et empêchaient presque de gouverner, au point qu'avec son gros arrière il eût été dangereux, pour *le Dwarf*, de naviguer dans la rivière. Les gros arrières, destinés à porter de lourds canons, diminueraient donc beaucoup la marche des navires en créant une sorte de résistance négative, et en faisant perdre près du quart de l'effet utile d'une machine. On ne s'attendait pas à ces résultats, et surtout à gouverner aussi mal. *Le Dauntless* a montré cette particularité : en laissant sa barre droite il faisait le tour de l'horizon en dix minutes. Les expériences du *Dwarf* firent modifier les arrières des navires en construction. La vitesse du *Sharpshooter* fut de 9',16, celle du *Riffleman* de 7',9; la différence était de 2',01, ou 25 pour 100 en faveur de la forme fine. Le sillage de *la Minx* était de 7',85, celle du *Teuzer* de 6',31, la différence de 1',54, ou 24 pour 100. D'après les lois admises il aurait fallu ajouter 195 chevaux à la machine du *Sharpshooter*, c'est-à-dire la doubler pour obtenir la marche du *Riffleman*, et augmenter de 95 chevaux l'appareil du *Teuzer*, ce qui eût fait une dépense de 12 900 et

5890 livres sterling, ou 322 500 et 147 250 francs, dans l'achat des machines, et de 19 et 9 livres sterling, ou 475 et 225 francs, par jour de charbon consommé en sus. Ainsi, de mauvaises formes entraînent à de grandes dépenses.

Ce fut pour armer le navire à hélice comme celui à roues que l'arrière reçut les formes renflées qui ont causé les mauvais résultats dont il vient d'être question. L'ancien armement était composé de canons très-lourds, qui, placés aux extrémités, nécessitaient ainsi des formes très-peu convenables pour la marche, mais indispensables pour soutenir ces poids et pour résister aux mouvements violents dans une grosse mer. De sorte qu'avec leurs tambours sur les côtés et leurs canons aux deux bouts, il est difficile de concevoir des navires plus éloignés des conditions nécessaires pour les mouvements doux, si nécessaires au service de l'artillerie et à la conservation du navire lui-même. On a inventé une grande variété de canons pour armer les navires à roues; on en a fait de toutes sortes de longueurs, de poids, de calibre, de charges, et imaginé des moyens encore plus nombreux de les monter, les manœuvrer, les pivoter, les comprimer, les transporter et les assujettir. On a eu bientôt une variété de canons et d'affûts à ne plus se reconnaître et à être contraint de faire des dispositions particulières pour chaque forme d'avant ou d'arrière. Il en résulte qu'il faudrait que chaque vapeur à roues eût des affûts de rechange dans les stations lointaines, puisqu'aucun ne se ressemble. Ce système d'armement n'avait aucun avantage; il était plein de défauts : comment se battre quand les deux navires seraient placés d'équerre? l'un des deux ne peut marcher par le travers pour suivre celui qui va de l'avant. Il est vrai de dire que cet armement n'avait pas été choisi, mais qu'il était imposé par la forme des navires à roues, et il ne date que de leur construction; on n'y aurait, certes, jamais songé sans cela. Leurs tambours avaient relégué l'artillerie vers les deux extrémités, et comme les canons étaient devenus peu nombreux, on a voulu les avoir d'un énorme calibre; en outre, la machine étant la partie vulnérable, on avait cherché à l'abriter en admettant qu'on ne se battrait que par l'avant et par l'arrière. On a autant dépensé à chercher à bien armer les navires à roues qu'à en faire de bons voiliers, et on n'a pas plus réussi à l'un qu'à l'autre. En augmentant les dimensions, on fit des batteries couvertes et on ne rendit pas les navires plus redoutables; ils ont eu les canons du pont pour pointer vers les extrémités et ceux des batteries par le travers. L'hélice, en dégageant les deux

côtés pour les rendre aux canons, a permis de revenir à l'ancien vaisseau, de lui donner même de meilleures formes, et elle a beaucoup ajouté à sa perfection en ce qu'elle est plus invulnérable que les mâts, et qu'elle est plus facile à manœuvrer que la voilure. L'idée fausse que le navire à hélice était toujours un vapeur, a fait persister dans un armement défectueux et dans les formes mal assorties aux grandes vitesses.

Le Rifleman est le premier navire à hélice dont on ait corrigé les formes : de 7',9 il est arrivé à filer 9,5 ; ce fut 1',6 de gagné, et cependant les machines ne fonctionnaient pas aussi bien que la première fois. Depuis on a mis des machines de 100 chevaux à la place de celles de 200, et les nouvelles donnent 8',0, c'est-à-dire une marche meilleure qu'avec les 200 chevaux. La mauvaise forme de l'arrière exigeait donc à elle seule une force de 100 chevaux ; or, le cheval-vapeur se paye par contrat 68 livres sterling ou 1700 francs : c'est donc 170 000 fr. de gagnés par le changement des formes; mais il y a encore l'économie du charbon de 10 tonneaux à 30 francs de prix moyen pour toutes sortes de stations, qui produit environ 570 livres ou 14 250 francs par an. A bord du *Teuzer* on a obtenu des résultats semblables : les machines de 100 chevaux ont été remplacées par des appareils de 40 chevaux; les premières produisant une vitesse de 6',315, les secondes, après le changement des formes, 7',685, c'est 1,37 nœud de plus avec une force motrice égale aux $\frac{2}{5}$ et produisant néanmoins plus de vitesse que la première. Aussi, après la correction des façons, une force de 22 chevaux aurait fait filer autant au *Teuzer*. On aurait donc épargné ainsi les $\frac{4}{5}$ de la puissance en se bornant à ne filer que 6,315. Il est à remarquer que la machine de 200 chevaux fut enlevée d'un navire de 300 tonneaux pour être placée sur un autre de 484 qui faisait 1',698 de plus ou 27 pour 100. Sur *le Teuzer*, le même calcul montre une économie de 340 livres ou 8500 francs par an, tant que le navire existera. *Le Rifleman*, *l'Inconstant* et *le Sharpshooter* sont sur les mêmes plans que *le Dauntless*, et en appliquant à ce dernier des calculs semblables sur l'altération des formes, on trouve qu'une machine de 246 chevaux lui donnerait la même vitesse que celle de 580 avant la correction des lignes; il y a donc 334 chevaux dépensés inutilement, et ils chargent le navire d'un surcroît de poids et de combustible de $\frac{6}{10}$. Au prix de 53 livres ou 1300 francs par cheval, c'est une première somme de 17 368 livres ou 434 200 francs, et, en admettant le même prix de 25 schelings pour le charbon seul, les 334 chevaux inutiles coûtent 15 056 livres ou 366 400 francs en huit ans, ou 47 000 francs par an

tant que *le Dauntless* durora, et, dans le principe, ces mauvaises formes avaient coûté 434 200 francs de machine inutile. Cette défectuosité du *Dauntless* avait suffi pour en faire un navire d'une marche médiocre, avec une puissance énorme et pour le rendre incapable de fuir, de poursuivre ou d'aider les autres. Tous les autres navires construits à la même époque avaient les défauts du *Dauntless*, et il a fallu les modifier et renoncer enfin à cet armement en pointe des extrémités, qu'on avait eu le tort d'emprunter aux bâtiments à roues. On a donc pris des formes que la nécessité de placer des canons aux extrémités avait seule fait adopter et qui étaient impropres à la marche, malgré de grandes puissances motrices. Il a fallu allonger plusieurs des navires à hélice commencés, car on ne se doutait pas à quel point les formes grosses aux extrémités étaient désavantageuses à la marche, et on avait eu le tort de s'écarter de *l'Archimède* et du *Rattler;* on perdait par cette seule raison la moitié de la force du *Rifleman*, les 0,8 de celle du *Teuzer*, les 0,6 de celle du *Dauntless* et encore plus à bord du *Dwarf*, pour s'être créé avec l'hélice des difficultés d'armement qui n'existaient qu'avec les roues; aussi, sans que ce soit précisément le fait du propulseur, les navires à hélice ont mieux marché que ceux à roues, par cela seul que leurs formes étaient plus favorables.

L'emploi des obusiers est nécessaire à l'avant et à l'arrière plutôt qu'au milieu : supposons qu'un navire de la forme de ceux à hélice, *l'Encounter* par exemple, ait été construit avant l'invention des machines à vapeur, on lui aurait donné le plus de voiles possible et on l'aurait armé avec une batterie continue de 12 à 14 des meilleurs canons de l'époque. Si ce navire avait existé du temps du général Paixhans et qu'on ait voulu perfectionner son armement, on aurait remplacé la paire de canons de l'avant et celle de l'arrière par un seul obusier du plus gros calibre, monté de manière à tirer des deux côtés et à avoir l'avantage de le faire en avant ou en arrière, suivant sa position. Le poids de ce seul canon valant celui des deux qui ont été enlevés et se trouvant à la même position, le navire à formes fines qui portait les premiers ne sera pas surchargé par les seconds et conservera l'avantage de ses façons. Ainsi équipé avec ses voiles et son artillerie, admettons que ce navire supposé arrive à notre époque et soit pourvu d'une hélice, le massif arrière se trouvera suffisamment affiné pour recevoir ce propulseur, la cale sera dégagée d'une partie de ses approvisionnements et présentera une capacité suffisante pour placer une machine de 360 chevaux. Alors la vitesse de l'ancien *Encoun-*

fer et celle du nouveau se trouveront les mêmes à la voile, et notre navire, destiné à unir les jours qui ont été à ceux qui sont, conservera non-seulement ses anciennes qualités, mais même en acquerra de nouvelles. Si on demande quelle différence on trouve entre *l'Encounter* supposé et le réel, il est facile d'en trouver une très-grande : c'est que ce dernier n'est équipé ni avec toute la voilure, ni avec tous les canons qu'aurait eus le supposé, provenant du navire à voiles seulement modifié. Cette différence n'est pas le fait de la nécessité, mais seulement de l'époque, et on peut construire un véritable *Encounter* semblable à celui que nous avons supposé et lui donner les canons de sa classe de navire avec sa machine en sus. De la sorte, il présenterait le vrai navire mixte, conservant toutes les qualités du navire à voiles et acquérant les vitesses des vapeurs rapides. Tous les doutes et les indécisions seront dissipés, dès qu'on montrera un exemple de ce qui vient d'être supposé, pour faire comprendre la véritable nature du navire mixte.

La flotte à hélice compte quarante navires en fer ou en bois de toutes dimensions (ceci a été écrit en 1850); le tableau de Bourne en présente 44, le plus petit est *le Dwarf*, le plus grand *l'Agamemnon ;* ils forment un total de 49 153 tonneaux; leur puissance varie de 10 chevaux à 780, et l'hélice emploie en tout 12730 chevaux. Les navires auxiliaires promettent de valoir ce qu'ils ont coûté. La machine du *Rattler*, qui est à roues dentées et pèse 178 tonneaux, serait maintenant remplacée par un appareil de 90 tonneaux qui serait mis à l'abri sous la flottaison. *La Minx, le Teuzer, le Rifleman, le Sharpshooter* et *le Phénix* ne sauraient être regardés comme de vrais navires de guerre. *Le Niger* est un navire de 1072 tonneaux, qui ne porte que 14 canons; il en est à peu près de même du *Conflict* et de *l'Encounter*. D'après ce qui précède, l'Angleterre possède une force qui, au prix moyen de 25 livres ou 625 francs par tonneau, et 56 livres ou 1400 fr par cheval, monte à la somme de 2 millions sterling ou 50 millions de francs, et on ne connaît pas plus sa valeur militaire maintenant qu'en 1845, époque où on l'a commencée. Il faudrait cependant l'expérimenter d'une manière convenable, car si on ne le fait pas, on risque de suivre une fausse direction, et, en considérant la non-réussite de l'hélice à Liverpool et son succès complet à Londres, par cela seul que les expériences ont été bien ou mal conduites, il est naturel de souhaiter que les nouveaux navires soient étudiés, et de penser que ce n'est qu'après des essais multipliés et sérieux qu'il est permis de compter sur le succès.

On peut admettre en nombres ronds que chaque navire à hélice coûte le double de celui à voiles portant le même armement. Sa puissance mécanique lui donne, il est vrai, un grand avantage sur le navire à voiles; mais elle ne fera jamais qu'un canon en vaille deux, ni que le tir soit plus juste ou plus prompt. L'avantage d'un navire à hélice consiste à forcer au combat un navire qui fuit, et, une fois engagé, à manœuvrer avec plus de facilité, plus de promptitude et dans toutes les directions. C'est une raison de plus de rendre leur armement redoutable, surtout puisque leur machine est invulnérable et que la force de leur artillerie est la seule compensation au surcroît de dépense qu'ils occasionnent. La dépense n'est pas pour eux le seul défaut : moins ils seront bien armés, plus il y aura de chances de les perdre. Est-ce que les 22 000 livres ou 550 000 francs des machines des corvettes et les 32 000 livres ou 800 000 francs de celles des frégates, qui sont de l'or en monnaie pour le capteur, sont défendues par un armement aussi fort que celui des navires à voiles du même rang. Dans le cas où ces navires seraient pris, ils reparaîtraient entre les mains de l'ennemi avec une artillerie plus considérable. S'il est évident qu'un armement incomplet est une cause de perte et de dépense, il en est de même d'une voilure insuffisante, parce que chaque mètre de toile enlevée nécessite des tonneaux de charbon pour le compenser.

Un navire à hélice n'est pas plus un navire à roues, qu'un système de leviers ne ressemble au plan incliné, bien que tous deux soient mus par la vapeur. On a cherché à faire *le Niger* et *le Basilisk* aussi semblables que possible, afin de comparer les deux propulseurs, et cependant le navire à hélice ne s'en est pas moins trouvé de 95 tonneaux plus léger, parce que l'arbre de son propulseur, situé à la partie la plus basse du navire, n'exige aucune addition pour sa solidité comme celui des roues placé sous le pont, à la partie la plus faible du bâtiment. Les machines de l'hélice ont été de 54 tonneaux plus légères, parce que situées bas et mises à plat, elles n'ont pas cette haute charpente en fonte de l'appareil à roues. Ainsi, malgré le désir de similitude pour mieux comparer les propulseurs, on a fait le navire à hélice de 149 tonneaux plus léger que celui à roues, cette différence ne provenant que des qualités différentes des deux propulseurs et nullement du moteur. En outre, les centres de gravité ont eu des positions très-différentes et à l'avantage de l'hélice. Quoique le navire à roues inclinât moins pour la même surface de voiles, celui à hélice a cependant été le meilleur voilier dans les essais. Les

machines des roues à aubes exigent de grands pistons à mouvement lent et avec une longue course : elles sont donc lourdes et volumineuses; l'hélice au contraire nécessite un mouvement rapide et n'emploie que de petits cylindres légers en comparaison des autres et occupant peu d'espace. Quand les navires se remorquaient par l'arrière, il y avait une plus grande pression sur les pistons des roues à aubes et plus de rapidité dans ceux de l'hélice : ceux-ci produisaient, à cause de cela, 188 chevaux de plus et faisaient faire un nœud et demi (voir pages 63 et 68, l'opinion de M. Bonrne sur ces expériences). Ces différences en produisent dans le navire entier, et l'hélice seule est convenable pour les bâtiments de guerre.

On ne saurait donc trop expérimenter le nouveau propulseur; mais il semble qu'on désire éviter les essais, de peur de trouver des mécomptes, et on avance toujours, sans penser que le mal augmente. Sur les 12730 chevaux de force de la marine à hélice, il y en a 11 782 dont les cylindres sont placés à plat et qui ne sauraient être mis droits pour mener des roues à aubes. Il y a treize sortes différentes de ces machines, dont pas une n'a été aussi bien essayée que celle de *l'Amphyon*. Nous avons donc, pour une valeur de 660 000 livres ou 16 500 000 francs de machines qui ne conviennent qu'aux bâtiments pour lesquels on les a construites, et l'expérience n'a pas encore décidé jusqu'à quol point elles remplissent leur but : cependant c'est ce qu'il importe le plus de savoir.

Il est curieux de chercher ce que deviendrait un navire à hélice, si on lui donnait un armement complet : *le Niger* est une corvette à vapeur de 1072 tonneaux de déplacement, qui en a réellement 1455, avec 59^{m},17 de longueur entre perpendiculaires. *La Calypso* est une corvette à voiles de 731 tonneaux et en réalité de 857; elle a 36^{m},60 de long. De la sorte, celle à hélice a un excédant de 598 tonneaux ou 69 ponr 100, et elle est de 45 pour 100 plus longue. Elles coûtent, une fois équipées, l'une 1 250 000 francs, et l'autre 500 000 francs. *Le Niger* fut armé avec nn gros canon à pivot à chaque bout et six canons en batterie. *La Calypso* avait un canon à pivot à chaque bout avec neuf canons en batterie; de sorte que la corvette à vapeur, qui est plns longue et qui coûte 50 pour 100 de plus, se trouve avoir un armement de 30 pour 100 de moins. Cette grande différence est-elle une nécessité ou ne l'est-elle pas? Est-ce qu'il y a une grande difficulté à ce que *le Niger* ait 11 canons en batterie au lieu de 6, de manière à mettre sa force en rapport avec ce qu'il coûte? Mais

c'est peut-être parce que nous avons oublié que l'un est un navire à vapeur et l'autre un bâtiment à voiles, que nous croyons cela : en effet, *le Niger* est très-armé, il porte 14 canons, tandis que *le Basilisk*, qui lui ressemble, n'en a que 6. C'est une erreur : *le Niger* n'est vapeur que de nom ; il pourrait aller à la voile : il n'est donc lourdement armé que par rapport à son nom, et nullement à sa capacité. On n'oublie pas assez que le mot vapeur implique l'idée d'une sorte de bâtiment que de longs efforts n'ont pu parvenir à armer convenablement, et qu'il ne faut pas nommer ainsi une autre sorte de navire qui n'offre pas les mêmes difficultés. Les mots bâtiment à vapeur ont longtemps donné l'idée d'une chose incomplète, ils ne sauraient donc être réellement employés pour un objet qui, au contraire, est essentiellement complet. Si on a dit du mal de l'hélice, c'est qu'on ne savait pas s'en servir. Il faut donc abandonner le terme de steamer, navire à vapeur, qui jette le trouble dans les idées, le laisser aux bâtiments à roues, et nommer *auxiliary ship* (c'est notre navire mixte), celui qui a l'hélice pour propulseur.

Passons à la question. Est-ce que *le Niger* offre assez de déplacement pour l'armer avec plus de canons? Lors de ses derniers essais, il avait 100 tonneaux de lest en fer pour faire des expériences avec différentes immersions; il n'en résulta rien de sensible, ni sur ses machines ni sur son hélice : les seuillets de sabord étaient à $2^m,90$, et ceux de *la Calypso* à $1^m,68$; de sorte que, sous ce rapport, on peut charger davantage *le Niger*. Mais ses ponts ont trop d'écoutilles pour y placer beaucoup de canons; défaut bientôt corrigé en diminuant leurs dimensions. Les machines du *Dauntless* ont assez d'air avec 13 mètres carrés d'écoutilles, et celles du *Niger*, qui ont 180 chevaux de moins, se trouvent en avoir 53,87. Il faudrait aussi changer les dispositions du pont du *Niger*; mais on peut dire à cela qu'on aurait dû les mieux installer de prime abord. On exige des paquebots que leurs ponts soient capables de porter des canons, il faut donc que ceux des navires de guerre le soient aussi; car les qualités militaires de ces derniers sont la seule compensation à ce qu'ils coûtent. Et c'est en ne les armant pas bien qu'on est en droit de dire que nos navires à hélice coûtent plus cher; car *le Niger* ne saurait lutter contre un brick de 20 canons, et si sa machine est dérangée, il n'a pas assez de toile. Il faut que le navire à hélice marche aussi bien avec sa voilure seule, et sans machine, que ceux à voiles. Les différents bâtiments sont divisés en navires à voiles, en bâtiments auxiliaires et en navires à hélice, suivant le degré relatif de leur puis-

sance motrice; mais tous doivent avoir une voilure complète et être parfaits voillers.

Peut-on, dans le même navire, combiner ensemble, tant pour la paix que pour la guerre (*full power of sails, full power of steam, and full power of guns*), toute puissance de volles, toute puissance de vapeur et toute force de canons? D'autres nations paraissent considérer cette question avec plus de confiance que nous, et semblent travailler à la résoudre. (Ceci était écrit en 1850, époque à laquelle la construction du *Napoléon* était avancée.) Et s'il est prouvé qu'avec un armement complet on peut marcher vite, il n'y aura pas de navire à voiles capable d'échapper; et ce dernier n'aura même pas la ressource d'aborder; parce que le navire à vapeur ne le fait que s'il le veut.

La voilure des navires à hélice est loin d'être expérimentée, et on ne sait pas si elle est suffisante et s'il ne serait pas utile de l'augmenter. *L'Encounter* (voir ses dimensions dans le tableau) a 11 270 pieds carrés, ou 1048 mètres carrés de toile; *le Dauntless* en a 21 000, ou 1950 mètres carrés, et il est probable qu'ils en porteraient davantage. Il faudrait qu'ainsi équipés ces navires fussent soumis (*to severe and decisive competition with good sailing ships*) à une lutte dure et décisive avec de bons navires à voiles. Dans ce bnt, ils seraient essayés pendant plusieurs mois (*the harder the better*), le plus durement serait le meilleur, afin de présenter des preuves évidentes de leurs qualités et de leurs défauts, dont un examen approfondi amènerait seul à un résultat définitif. On comparerait ainsi les services aux dépenses de chaque nouveau navire avec celui de la classe correspondante parmi ceux à voiles. De plus, les services des navires à hélice, avec la vapeur seule, seraient mis en rapport avec ceux des bâtiments à roues, employés aussi avec la vapeur seule, et, enfin, les services et les dépenses des deux sortes de bâtiments, avec les deux forces combinées, seraient comparés. Si de telles expériences étaient faites avec les mêmes circonstances de temps, et canon pour canon, force pour force, on arriverait à décider tout à fait si le navire à hélice peut, ou ne peut pas, remplir les vraies conditions (*of a British man of war*) d'un vaisseau de guerre anglais, possédant à la fois la puissance militaire et la force de ses voiles, ainsi que celle de la vapeur; alors il n'y aura plus de doute sur les sommes dépensées pour les navires à hélice. Le capitaine Halsted termine en souhaitant que ses recherches laborieuses ne soient pas inutiles, et qu'elles jettent quelque lumière sur ces questions importantes. Ses vœux ont été exaucés, car

depuis l'époque où il publia son ouvrage, et, que ce soit dû à ses idées ou à celles arrêtées déjà dans l'amirauté, les constructions n'ont plus éprouvé d'incertitudes et de mécomptes; elles présentent maintenant un système arrêté, qu'il est intéressant de connaître, et dont je vais tâcher de donner l'idée.

VAISSEAUX A HÉLICE.

Les premiers vaisseaux à hélice ont été *l'Ajax*, *le Blenheim*, *l'Edimburg* et *le Hogue*, à peu près semblables au plan du premier donné planche V; ils ont été disposés avec lenteur et en tâtonnant, pour ainsi dire. Leurs résultats ont été très-médiocres sous le rapport de l'utilisation, comme le montrent les chiffres de la table III de l'appendice. Leurs qualités à la mer n'ont pas été meilleures : ils ont beaucoup fatigué, et ils ont éprouvé des voies d'eau inquiétantes. Leur artillerie était d'abord formée de 56 canons, et plus tard on l'a portée à 60, en la composant de 28 canons de 32, 26 obusiers de 8 pouces, 2 de 68 et 4 de 10 pouces. Cette artillerie a été trop pesante pour quelques-uns, et il a fallu la réduire. Destinés au rôle de gardes-côtes, ils reçurent une mâture de frégate, peu de vivres et de combustible. *Le Blenheim* et *le Hogue* ont été un peu allongés par l'arrière, afin de faire disparaître l'écusson de la partie avant du puits; mais leur forme générale ne différait pas de celle des autres vaisseaux. En même temps on construisit la longue série de navires à hélice dont on voit la liste dans le tableau de Bourne, et on n'obtint aucun résultat satisfaisant. Après tant de dépenses on n'était pas encore arrivé à un type assez bon pour être adopté, lorsque le projet arrêté en France d'avoir des navires à grande vitesse publiquement connu, et la mise en chantier du *Napoléon*, dès 1848, paraissent avoir décidé l'amirauté à entrer dans la même voie et à entreprendre les constructions qui viennent d'être terminées; elle s'est arrêtée à quatre ou cinq types principaux, d'après lesquels s'exécutent, en ce moment, de nombreux navires, et dont il est par conséquent utile de connaître les détails et les résultats; ce sont : *le Duc-de-Wellington*, *le Saint-Jean-d'Acre*, *l'Agamemnon*, *l'Impérieuse* et *la Tribune*, tous formidables par leur armement, conservant une voilure aussi étendue qu'avant leur transformation, et atteignant une vitesse d'environ 10 nœuds. Ce sont les idées que nous venons de voir énoncées mises en pratique avec succès; ce sont aussi celles de tout marin comprenant son métier, et pensant que, malgré son importance, la vapeur n'est pas tout, et qu'il

ne faut pas dédaigner la voile qui, à elle seule, nous a si longtemps conduits, avec sécurité et une rapidité suffisante, dans toutes les parties du monde; qui seule fait des marins quand la vapeur les défait, et qui, au moins, épargne les millions de l'État, sans pour cela forcer de rester à voir tourner un navire autour de sa bouée.

Le vaisseau de 131 canons *le Wellington* portait d'abord le nom de *Windsor-Castle;* il était, d'après les plans du capitaine Symonds, c'est-à-dire très-large et très-fin; il a été allongé de 20 pieds anglais en le séparant en deux et laissant glisser l'arrière avec des câbles, et sa longeur actuelle est de $73^m,20$, son bau de $18^m,30$ et son creux de $19^m,82$ [1]; il déplace plus de 5000 tonneaux; la proportion de sa longueur à sa largeur est comme 1 est à 4, de même que nos vaisseaux à voiles ordinaires; on a, de plus, ajouté 3 pieds à son avant, ce qui le rend plus gracieux sur l'eau. Sa machine est celle destinée, dans l'origine, au *Simoon*, grand navire en fer maintenant employé au transport des troupes; elle occupe, avec les chaudières, une longueur de $21^m,35$, et ses chaudières, au nombre de quatre, pèsent 25 tonneaux chacune. La machine est de M. Robert Napier; elle est formée de deux cylindres horizontaux placés du même côté; les bielles de leur piston font tourner les manivelles d'un arbre situé du côté opposé du navire, et qui porte une grande roue d'engrenage, dont les dents viennent prendre dans celles du pignon de l'arbre de l'hélice, placé en contre-bas entre la grande roue et les cylindres (voir pl. I). La pompe à air est verticale, et son piston est entraîné par une sorte de balancier supérieur mené par une petite bielle articulée à un prolongement du bouton de la grande manivelle. Sauf lo mouvement de la pompe à air, cette disposition d'appareil offre beaucoup d'analogie avec celle du vaisseau français *le Napoléon*. Les cylindres ont $2^m,37$ de diamètre et $2^m,75$ de course; la puissance nominale est de 700 chevaux : avec trente coups de piston elle est d'environ 770 chevaux. La machine est située entre le mât d'artimon et le grand mât; les chaudières tubulaires sont sur l'avant du dernier, et disposées sur les côtés comme dans le plan de *l'Ajax* (pl. V) : elles font déboucher leurs vingt foyers dans une seule cheminée en avant du grand mât. Tout l'appareil est à 5 pieds sous l'eau et se trouve, en outre, entouré de soutes de 12 pieds d'épaisseur, contenant pour cinq jours de charbon.

1. Ces détails sont extraits du *Nautical Standard*.

Le 10 août 1853, *le Duc-de-Wellington*, complétement mâté, ayant à bord tonte son artillerie, 400 tonneaux de charbon, 200 tonneaux d'eau et 180 tonneaux de boulets, calait 23^{p} 4^{po} (7^{m},12) à l'avant et 24^{p} 3^{po} (7^{m},395) à l'arrière; il a été essayé au mille mesuré de Stokes-bay et a donné les résultats suivants :

Coups de piston.	Vitesse.	
29	10',493	10',022
30	9',257	
29 ½	10',975	10',187
31	9',399	
30	11',145	10',10
29	0',068	
Moyenne..................................		10',103

Plus tard, ayant son armement complet, tirant en moyenne 7^{m},79, et ayant 1^{m},78 de hauteur de seuillet de sabord, il a obtenu, au mille mesuré de Stokes-bay, une vitesse de 10',103. Ce fait a déjà été observé, et ne s'explique qu'en admettant que l'hélice fonctionne mieux quand elle est plus plongée. En calculant l'utilisation du *Duc-de-Wellington* de la manière que M. Bourne emploie pour les autres navires à hélice, on trouve 147 pour une maîtresse section de 103m^2 et une puissance nominale de 700 chevaux; tandis que pour la puissance effective, qui s'est élevée à plus de 1200 chevaux environ, on obtient 86, ce qui est plus que les résultats obtenus antérieurement et portés au tableau n° III de l'Appendice. Le démontage de l'hélice s'opère avec promptitude, au moyen de dispositions dans le genre de celles du *Charlemagne*. Le vaisseau gouverne parfaitement: essayé à la mer avec gros temps, il a donné une haute opinion de ses qualités nautiques. Sa mâture est celle des plus grands vaisseaux anglais; son grand mât a son emplature dans le faux pont, et est soutenu par des épontilles au lieu d'avoir un pied en fer. Il marche bien à la voile, et remplit ainsi les conditions dont parle le capitaine Halsted. L'artillerie du *Duc-de-Wellington* est formidable; elle se compose[1] :

Pour la batterie basse de	10 canons de	8 pouces, pesant	3300^{k} et longs de	2^{m},745
et de....................	26	32	2944	2^{m},897
La seconde batterie de...	6	8	3300	2^{m},745
et de....................	30	32	2944	2^{m},897
La troisième batterie de..	38	32	2131	2^{m},440
sur le pont il y a..........	20	32	1269	1^{m},830
et........................	1	68	à pivot	1^{m},824
	131			

1. Ces chiffres sont extraits du *Nautical Standard* de 1853, page 246.

Il paraît que cette dernière pièce a été débarquée. Cette artillerie présente un poids total de 397 850 kilogrammes pour les canons seuls, et sans y comprendre les affûts et les munitions, qui forment ensemble un poids à peu près égal à celui des pièces. *Le Duc-de-Wellington* embarque quatre mois de vivres et un mois et demi d'eau pour mille à onze cents hommes : il a une cuisine qui produit 5450 litres d'eau par jour, et pour sa machine ses soutes renferment pour cinq jours de combustible à toute volée. Les projections d'eau causées par le peu de volume des chambres à vapeur des chaudières ont donné dans les cylindres des secousses assez fortes pour courber les tiges de piston malgré leur grosseur. Elles exposent a des avaries très-dangereuses; quelquefois leurs causes n'ont rien d'apparent, surtout dans les chaudières que leurs proportions défectueuses exposent à cet effet de l'ébullition. Elles méritent une attention très-sérieuse, parce qu'elles exposent à voir le meilleur appareil réduit à l'inaction, ainsi que le puissant navire qu'il entraîne, et trop souvent cela provient de ce que l'espace laissé à la formation de la vapeur n'a pas l'étendue suffisante. C'est un défaut qu'il est presque toujours impossible de corriger après coup et qu'il n'est pas difficile d'éviter.

Le Marlborough a été modifié de la même manière que *le Duc-de-Wellington*, et il est destiné à porter une artillerie aussi puissante. On a pris le parti de l'allonger par l'avant de 1 mètre, pour qu'ayant une entrée plus fine il marche mieux, et on pense qu'ainsi affiné il gagnera 1 nœud. *Le Marlborough* a été aussi allongé par l'arrière et par le centre de 30 pieds (9^m,15). En outre, on a élargi le milieu de 1 pied (0^m,305), ce qui a fait encore gagner 140 tonneaux. De la sorte, il est aussi grand que *le Duc-de-Wellington*, et il a 240 pieds ou 73^m,2 de long, 18^m,30 de bau, ce qui met ces dimensions dans le rapport de 1 à 4, et son creux est de 19^m,82; il a été lancé le 13 janvier 1853.

Le Saint-Jean d'Acre, de 101 canons, a 72^m,6 de long, 16^m,90 de large et 3260 tonneaux de port; il a des formes plus fines que les autres vaisseaux. Son artillerie est composée : pour la première batterie, de 20 obusiers de 8 pouces, de 3341 kilogrammes, longs de 2^m,745, et de 16 pièces de 32, de 2843 kilogrammes; la seconde batterie, de 8 obusiers de 8 pouces et 28 pièces de 32; enfin les gaillards portent 28 canons de 32 pesant 2132 kilogrammes et un canon de 68 à pivot, de 4874 kilogram. Les machines sont de M. Penn; elles ont marché au bout de trois mois après le commencement du montage à bord. Avec tout embarqué, excepté les poudres et les obus, et au tirant d'eau de 7^m,167 avant et

6m,625 arrière, le vaisseau a eu pour moyenne de six parcours au mille mesuré, une vitesse de 11,33 nœuds avec 62 tours d'hélice par minute et une pression de 1k,193 à 1k,404 par centimètre carré. Sa cuisine distillatoire produit de 4540 à 5450 litres d'eau[1] par jour pour 900 hommes d'équipage. Il fait le tour de l'horizon dans huit minutes, dans un cercle d'environ un quart de mille de diamètre.

L'Agamemnon a des façons moins fines que *le Wellington*, ses proportions sont à peu près celles de nos vaisseaux; la puissance de sa machine est de 550 chevaux; son déplacement en charge est de 4750 tonneaux. La machine est du système à fourreau de M. Penn, comme celle de *l'Encounter* et de *l'Arrogant*, représentée planche II, fig. 8, elle est placée entre le mât d'artimon et le grand mât, où elle occupe très-peu de place, et les chaudières disposées des deux côtés, comme celles du *Wellington*, s'étendent sur l'avant du grand mât, et n'ont qu'une

1. L'appareil dont se servent les vaisseaux anglais porte le nom de *patent Grant's distilling Galley*. J'ignore s'il est semblable à notre cuisine distillatoire de M. Rocher de Nantes, mais il s'en rapproche probablement, puisqu'il cuit en même temps les aliments de l'équipage. Les appareils distillatoires peuvent être regardés comme d'origine française. Avant les nôtres, il n'y avait eu que des essais infructueux, tels que ceux d'un Espagnol, nommé Pedro Fernandez de Quiros, en 1605, et ceux répétés en Espagne en 1797. Le capitaine Cook avait aussi essayé en vain la distillation, pour éviter de faire boire à ses équipages l'eau fétide des barriques. La même idée a été exécutée de diverses manières : mais de tous les appareils distillatoires, celui qui a donné les meilleurs résultats est dû à M. Rocher de Nantes. Il a été longtemps employé par les navires chargés de mulets pour les colonies, et j'en ai fait l'expérience à bord de *l'Archimède*, où, pendant plus de quatre ans, il a toujours donné 600 litres d'eau pour 100 kilogrammes de charbon, tout en cuisant très-bien les aliments de l'équipage. J'étais parti de France avec six caisses d'un kilolitre, dont deux se percèrent vers la moitié du voyage, et furent mises en pièces pour faire avec leur tôle des mannes à lest. Jamais on ne songea à bord qu'on pourrait manquer d'eau, quoiqu'on n'en eût guère que pour huit ou dix jours. Cette cuisine attira l'attention des Anglais, et en 1847, étant en relâche à la rade des Dunes, un officier, commandant un garde-pêche, vint à mon bord, accompagné d'un maître chaudronnier de Woolwich : il était porteur d'une lettre de l'ambassadeur de France, qui me priait non-seulement de montrer l'appareil aux personnes chargées par l'amirauté de l'examiner, mais de leur donner tous les documents désirables sur la distillation et la manière de la conduire à bord. C'est peut-être ainsi que l'appareil distillatoire français est devenu une invention patentée en Angleterre. Il est à remarquer, en outre, que depuis que plusieurs longues campagnes ont prouvé la sécurité des appareils Rocher, convenablement surveillés, on ne les emploie plus sur nos navires, et qu'on les remplace par des alambics particuliers, privés de l'avantage précieux de cuire en même temps les aliments. Ainsi on aura 6 à 7 litres d'eau pour 1 kilogramme de charbon, et on brûlera d'autre combustible pour faire bouillir la soupe : c'est augmenter beaucoup la dépense; car les anciens appareils distillatoires tout en faisant 6 litres par kilogramme de charbon, ne brûlaient pas le double des cuisines ordinaires, et quand on le désirait ils ne distillaient pas.

seule cheminée. La puissance par l'indicateur, mesurée dans les essais, a été de 2268 chevaux[1]. L'hélice a 18 pieds de diamètre, 5^m,49, et 6^m,28 de pas; elle pèse 8 tonneaux, son arbre passe dans un tube de cuivre jaune fondu : ses mouvements vibratoires ont été très-forts. Son armement ressemble à celui du *Wellington* pour les calibres, il est de 91 pièces, dont une de 68, lançant le boulet plein à près de 2700 mètres, sous un angle de 10°; ce canon ressemble à notre pièce de 50.

La mâture de *l'Agamemnon* a conservé les proportions des vaisseaux à voiles; elle a les dimensions suivantes[2]:

GRAND MAT.

Bas mât.

	m
Au-dessous du pont	7,47*
Du pont aux élongis	20,43
Ton	6,40
Totale	33,70
Diamètre	1,02

Grand mât de hune.

	m
Longueur totale	22,42
Ton	3,05
Diamètre	0,56

Grand perroquet.

De la clef au capelage	10,07
Flèche de cacatois	6,71
Diamètre	0,33

Grande vergue.

Longueur totale	33,85
Longueur de chaque bout	1,39
Diamètre	0,67

Vergue du grand hunier.

Longueur totale	23,79
Longueur de chaque bout	1,98
Diamètre	0,42

Vergue de grand perroquet.

Longueur totale	14,95
Longueur des bouts	1,98
Diamètre	0,29

Vergue du grand cacatois.

Longueur totale	10,37
Longueur des bouts	0,43
Diamètre	0,175

MAT DE MISAINE.

Bas mât.

Longueur du pont aux jottereaux	18,60
Ton	5,80
Diamètre	0,94

Vergue de misaine.

Longueur totale	29,28
Longueur de chaque bout	1,22
Diamètre	0,584

1. Tous ces chiffres sont extraits du *Nautical Standard* de 1853.

2. Extrait de *l'Artisan*, 1852.

Petit mât de hune.

Longueur totale	19,82
Ton	2,67
Diamètre	0,56

Mât de petit perroquet.

Longueur totale de la clef au capelage.	9,00
Flèche de cacatois.	5,94
Diamètre	0,305

Vergue du petit hunier.

Longueur totale	20,74
Longueur de chaque bout	1,73
Diamètre	0,38

Vergue de petit perroquet.

Longueur totale	13,11
Longueur de chaque bout	0,25
Diamètre	0,27

Vergue de petit cacatois.

Longueur totale	9,15
Longueur de chaque bout	0,38
Diamètre	0,15

MAT D'ARTIMON.

Bas mât.

Longueur du pont aux jottereaux	15,74
Ton	3,96
Diamètre	0,66

Mât de perroquet de fougue.

Longueur totale	16,00
Ton	2,16
Diamètre	0,13

Mât de perruche.

Longueur de la clef au capelage	7,32
Longueur de la flèche	5,03
Diamètre	0,24

Mât de beaupré.

Bas mât	16,04
Partie intérieure	7,78
Diamètre	1,02
Bâton de foc	16,16

Vergue de perroquet de fougue.

Longueur totale	16,17
Longueur de chaque bout	1,37
Diamètre	0,305

Vergue de perruche.

Longueur totale	10,98
Longueur de chaque bout	0,16
Diamètre	0,24

Corne.

Longueur	11,33
Diamètre	0,28

Gui.

Longueur	20,28

Le beaupré a deux sous-barbes en fer équivalentes à du filin de 0',215. La basse carène a 9 paires de haubans de 0m,305 : les grands haubans sont en fil de fer de 0m,151, ce qui équivaut à du filin de 0m,305. Le mât d'artimon a six paires de haubans de 0m,203. Les étais de misaine sont de 0m,335; le grand étai en fil de fer de 0m,164 équivalent à du filin de 0m,341; l'étai d'artimon en fil de fer de 0m,113 équivalent à du filin de 0m,254.

La surface de voilure est de 10 859 yards de toile ou 9100^{m2} : toutes les voiles ensemble font 24 681 yards de toile ou 20 628^{m2}.

Voici le résultat de ses derniers essais au mille mesuré :

AVEC ou CONTRE la marée.	TEMPS mis à PARCOURIR.	VIDE en centimètres DE MERCURE.	PRESSION en centimètres DE MERCURE.	NOMBRE DE TOURS.	NŒUDS PAR HEURE.	NŒUDS MOYENS.
Contre.....	5',34"	m 0,58	m 0,508	63 ½	10,778	11,449
Avec......	4',57"	»	»	»	12,121	
Contre.....	5',53"	»	0,508	64	10,198	11,349
Avec......	4',48"	»	»	»	12,500	
Contre.....	6',00"	»	0,508	64	10,000	10,787
Avec......	5',41"	»	»	63	11,575	
				Vitesse moyenne...........		11,248

Si, d'après cette vitesse, on effectue le calcul de l'utilisation comme le pratique M. Bourne, on trouve que pour une maîtresse section de 93 mètres carrés, l'utilisation est de 147, relativement à la puissance nominale de 600 chevaux, et seulement de 54 en se rapportant à celle de 2268 chevaux, que le *Nautical Standard* dit avoir été produite dans les expériences. Quelque faible que soit ce chiffre, il n'en est pas moins remarquable que M. Penn soit parvenu à placer dans un vaisseau, ayant à peu près le rapport de la longueur à la largeur des anciens modèles, un appareil capable de faire filer 11',25, et cela en permettant à ce vaisseau de conserver quatre mois de vivres, deux mois et demi d'eau et cinq jours de combustible : il reste à savoir au prix de combien de charbon c'est obtenu. Pendant ses essais, *la Fairy*, dont la marche est rapide, ne l'a gagné que d'une longueur de vaisseau pendant le trajet du mille mesuré; elle a également gagné *le Duc de Wellington*. Depuis, *l'Agamemnon* a été essayé à la mer et a donné une bonne opinion de ses qualités; seulement on a récemment ajouté près d'un pied d'épaisseur de fausse quille à l'arrière. Il tourne, dit-on, dans un cercle n'ayant guère pour diamètre que la longueur du vaisseau.

L'hélice Griffith, après n'avoir donné que la vitesse de l'ancien propulseur, mais avoir produit moins de vibrations, a éprouvé dans les essais

une rupture qui aurait été funeste à la machine, si on n'avait eu la présence d'esprit de la stopper aussitôt. On filait 8 nœuds et demi avec 45 révolutions par minute, lorsque, quelque chose manquant en bas, la machine partit avec une rapidité effrayante. On sentit un ébranlement général, comme celui d'un tremblement de terre : les vibrations furent si violentes, que chacun s'attendait à voir tomber les mâts par-dessus le bord, et on craignit que les chaudières n'éclatassent. Heureusement le mécanicien stoppa la machine et l'empêcha d'être mise en pièces par la rapidité du mouvement (voir page 338). On s'aperçut alors que l'arbre de l'hélice était brisé en dedans des ailes, probablement à cause de quelque défaut du métal, qui pour l'expérience était de la fonte de fer. L'ancienne hélice fut montée et le vaisseau reprit la mer.

Les procédés mécaniques destinés à modifier l'angle des organes de propulsion les affaiblissent et les exposent à des accidents aussi graves que celui dont il vient d'être fait mention; ils seront toujours un inconvénient assez important pour éloigner de leur emploi.

On arme actuellement *le Saint-Jean d'Acre* et *le James Watt*, qui ont beaucoup d'analogie avec *l'Agamemnon*. *Le James Watt* doit avoir 28 canons de 8 pouces, 62 de 32 et un canon de 68 à pivot. Il a les dimensions suivantes : longueur de tête en tête, 81^{m},57, entre perpendiculaires, 70^{m},15; largeur extrême, 16^{m},90; creux, 17 mètres; tonnage (*old measurement*), 3083 tonneaux.

La Princesse royale, vaisseau de 90 canons, semblable au *Cressy* et armé comme *l'Agamemnon*, a des machines de M. Maudslay, d'une confection remarquable, et qui, placées très-bas sous l'eau, n'occupent que 6^{m},45 sur 5^{m},49 : elle a filé 11 nœuds avec 57 tours d'hélice et au tirant d'eau de 6^{m},16 à l'avant et 6^{m},59 à l'arrière ; elle avait une pression de 1^{k},966 par centimètre carré : c'est la plus élevée qu'on ait employée sur les vaisseaux, et elle demande beaucoup de solidité dans l'appareil évaporatoire et le tuyautage. Essayée avec *le Conflict*, *la Princesse royale* a filé 11,03 en gagnant ce dernier de 1,5 par heure. Il se présente là un fait assez difficile à expliquer. *Le Conflict*, navire de 1000 tonneaux (voy le tableau I de l'Appendice) et de 400 chevaux nominaux, avec 16 livres de pression (1^{k},123 par centimètre carré), fait 9^{n},5 à l'heure; on fait un autre navire qui a 2200 tonneaux de plus, en ne changeant pas la puissance nominale et en se bornant à élever la pression à 28 livres (1^{k},966 par centimètre carré) : on penserait que la marche du second sera plus faible; mais au contraire, elle excède de 1^{n},5

celle du premier, tout en ayant un tonnage triple. Il faut que dans les évaluations des forces il y ait de grandes erreurs, pour arriver à de tels résultats, et que, d'un côté, les formes soient aussi défavorables et les machines aussi faibles relativement à leur force nominale, qu'elles sont fortes et que les façons se trouvent avantageuses de l'autre. En comparant au combustible brûlé ces erreurs ne se présenteraient pas.

Le Royal Georges et *le Royal Albert* sont des trois-ponts de deuxième classe, allongés de 3^m,60 par l'arrière, qu'on armera de 121 canons. Le premier vaisseau n'aura que la mâture de la troisième classe, et sa surface de voilure sera réduite de 7 pour 100 relativement à celle de *l'Agamemnon;* sa machine, de M. Penn, est de 450 chevaux nominaux, et elle en déploiera environ 1350. L'étambot du *Royal Albert* a 1^m,525 dans le sens de la quille, 0^m,457 d'épaisseur et 11 mètres de hauteur : il est composé de pièces solidement boulonnées. L'étambot à lunette est formé de deux pièces juxtaposées et découpées pour le passage de l'hélice. A ces constructions on ajoute actuellement *l'Algiers*, *le Cæsar*, *l'Exmouth*, *l'Annibal*, *le Majestic*, *le Nil* et *l'Orion*, qui, allongé, portera 90 canons, comme les précédents; sa machine, de 600 chevaux, est de M. Penn. *Le Curacoa*, frégate de 50 canons, va recevoir une machine de M. Maudslay de 350 chevaux. Ainsi tous ces vaisseaux sont destinés à recevoir des appareils moteurs très-puissants, et cela sans leur faire subir de grandes modifications de forme.

FRÉGATES ET CORVETTES A HÉLICE.

La frégate *l'Impérieuse* a donné aussi des résultats assez satisfaisants pour porter à l'imiter dans de nouvelles constructions. Elle a 63^m,65 de long sur 15 mètres de large, ce qui met ces dimensions dans le rapport de 1 à 4,26, c'est-à-dire un peu plus que les vaisseaux. Sa machine est à fourreau, fabriquée par M. Penn; elle a fait 67,7 tours par le compteur, avec 0^k,81 de pression par centimètre carré, et a fait filer 10,673 à la frégate au tirant d'eau de 4^m,88 avant et 5^m,56 arrière. L'hélice a 4^m,93 de diamètre et seulement 4^m,88 de pas. Au lieu d'être relevée par des vis ou par une presse hydraulique, comme celle de *l'Agamemnon*, elle est seulement soulevée par deux poulies et une aussière virée au cabestan. Son cadre est soutenu par des linguets à mesure qu'il monte. L'armement se compose : dans la batterie, de 8 obusiers de 8 pouces, longs de 2^m,745; 22 canons de 32, du poids de 2844 kilogrammes; sur

le pont, il y a 18 canons de 32, de 2284 kilogrammes, longs de $2^m,67$; 2 de 8 pouces, comme ceux de la batterie, et 1 canon à pivot, de 68, lançant le boulet plein ou l'obus de 10 pouces, pesant 4824 kilogrammes, formant un poids total de 141 tonneaux et demi. On a dit beaucoup de bien des qualités à la mer de cette frégate.

Enfin, la corvette *la Tribune* a reçu un appareil moteur de M. Maudslay, de la force nominale de 300 chevaux, à 60 tours par minute, elle a les dimensions suivantes : longueur entre perpendiculaires $58^m,56$; bau, $13^m,118$; rapport des deux dimensions 1 à 4,47; le creux est de $3^m,94$, et le tonnage de 1570 tonneaux; le tirant d'eau arrière $5^m,26$, celui de l'avant $4^m,295$; l'hélice a $4^m,27$ de diamètre, $5^m,34$ de pas, et $0^m,86$ de long; elle est embrayée au moyen d'une fin d'arbre en T, comme sur *le Chaptal*, et elle se remonte dans le puits avec une caliorne, dont le garant est viré au cabestan. Les chaudières tubulaires sont de niveau avec la ligne d'eau de $4^m,42$; elles ont 12 foyers, et leur cheminée de $1^m,61$ de diamètre et de $14^m,64$ de haut, se rentre comme une longue-vue, elle est à $12^m,50$ de distance du grand mât; les machines font 62 à 64 tours sans rien échauffer; l'artillerie est de 30 pièces de fort calibre. Cette corvette a les dimensions de plusieurs de celles essayées antérieurement, telles que *le Conflict*, *Desperate*, *Highflyer* et autres, portées au tableau n° 1 de l'appendice de M. Bourne, mais elle a un tonnage plus considérable et une artillerie plus forte. Elle a filé $9^n,68$ avec 68,25 coups de piston; dans d'autres expériences elle est parvenue à 10^n.

On vient de mettre en chantier la frégate de 60 canons, *la Shannon;* elle aura à peu près les lignes de *l'Agamemnon*, mais avec des extrémités plus aiguës, en ce qu'elle aura 20 pieds ou $6^m,10$ de plus que *la Princesse royale*, qu'elle a remplacée sur la cale, c'est-à-dire $72^m,30$, et elle filera de 12 à 13 nœuds.

Le résumé précédent montre combien on a désiré conserver aux bâtiments leurs anciennes qualités nautiques, et combien aussi on les a fortement armés; ces deux raisons portent naturellement à maintenir les dimensions principales dans les proportions qu'une longue pratique a démontré convenir à la navigation et à une artillerie pesante. En effet, dans leur ancien état, malgré leur peu de longueur et la concentration des poids, les vaisseaux prenaient de l'arc, et fatiguaient à la mer sous le poids de leur artillerie : ils ont donc encore plus de chances d'éprouver cette déformation, lorsque les objets lourds placés au milieu ont été

remplacés par d'autres plutôt encombrants que pesants, tels que les machines et leurs volumineuses chaudières. Les navires do guerre, nécessairement construits en bois, ne sauraient en cela suivre exactement la marche progressive des paquebots ; la différence dans la disposition des poids des deux sortes de bâtiments est aussi grande que celle des matériaux de leur construction. En Angleterre, on a considéré la question des vaisseaux mixtes sous son point de vue le plus facile, puisqu'on n'a pas changé les anciennes proportions, et qu'on ne s'en est écarté que dans les petits navires, tels que *le Highflyer* et quelques autres corvettes. On n'a sacrifié qu'une partie des approvisionnements, et en utilisant la cuisine distillatoire on a trouvé assez d'espace pour placer des appareils moteurs. Les difficultés ont été laissées, pour ainsi dire, aux ingénieurs civils, auxquels on n'a donné qu'un espace rétréci pour placer néanmoins des machines puissantes, et on peut dire qu'ils ont parfaitement rempli la tâche difficile qu'on leur avait imposée. M. Penn, dont les appareils ont toujours été si remarquables par la simplicité de leur disposition, la justesse parfaite de leurs proportions (on peut dire que tout y est assez fort et qu'il n'y a rien de trop), et l'admirable exécution des moindres détails, a eu certainement la plus grande part au succès obtenu ; il est parvenu à construire des machines très-compactes, et qui ne pèsent pas 200 kilogrammes par cheval réellement développé. L'excellente disposition des chaudières, la justesse des proportions de toutes les pièces, la perfection de l'ajustage et la grande vitesse de piston, que ce fini du travail rend possible, sont les causes de ces succès remarquables. Elles méritent la plus sérieuse étude de la part des mécaniciens, qui, avant de se lancer dans des inventions, doivent, quel que soit leur système de renvoi de mouvement, se pénétrer des proportions adoptées par cet habile constructeur et en imiter plutôt les détails que son système à fourreau (428). Sans trop changer les pressions adoptées, puisqu'on ne s'est élevé qu'à 20 livres par pouce carré, et tout en conservant la production de force qui résulte de la condensation, on est parvenu à la légèreté et au peu de volume des appareils à haute pression. C'est d'autant plus remarquable que, à part la vitesse de mouvement, les conditions de la nouvelle machine à vapeur sont les mêmes que celles de l'ancienne, qui pesait au moins de 1200 à 1500 kilogrammes par cheval développé sur l'arbre, et qui, sur nos navires à roues, occupe presque la moitié de la cale et une partie du faux pont, sans pour cela imprimer autant de vitesse que les nouveaux appareils. En France, M. Mazeline a obtenu

des résultats aussi satisfaisants sur la corvette *le Primauguet*. Il y a sous ce rapport un grand progrès, car l'ancien appareil ne fait filer que 9' aux navires à roues anglais ou français, tandis que le nouveau entraîne un énorme vaisseau avec une vitesse de 9',5 et même de 11 nœuds, en n'occupant pas autant de place, et en pesant moins que le premier. Il est probable qu'on ira plus loin, la nécessité tous les jours plus sentie d'avoir des appareils peu volumineux fait souhaiter l'usage des pressions élevées; il est très à désirer qu'on y parvienne; mais cette voie est semée de difficultés et d'écueils qu'il faudra beaucoup d'art pour éviter.

CHAPITRE IV.

DES PAQUEBOTS A HÉLICE EN ANGLETERRE.

En Angleterre, la marine marchande à vapeur a été modifiée d'une manière toute différente de celle de l'État, et si jadis la seule dissemblance entre le vapeur de guerre et celui du commerce ne consistait que dans la solidité de la charpente, il est bien loin d'en être de même actuellement. Avec les roues, les vapeurs avaient une longueur égale à environ six fois leur largeur quelle que fût leur destination : s'ils étaient armés en guerre, ils ne changeaient rien à leur moteur, dont la position était forcément fixée au milieu et en partie au-dessus de l'eau. Dès lors l'artillerie était disposée sur les extrémités, et se trouvait dans les plus mauvaises conditions. Vainement on a cherché à inventer un armement convenable; les efforts les plus ingénieux ont échoué devant ce problème, rendu insoluble par la position forcée du propulseur. Mais dès que l'hélice a permis de dégager les côtés et de recéler le propulseur dans le fond de la cale, on a repris toutes les dispositions naturelles du vaisseau, et pour avoir un vrai navire de guerre, il n'a fallu ajouter que les avantages d'une locomotion indépendante du vent. Dès lors on est revenu aux anciennes proportions, et on s'est efforcé de ne s'en écarter que très-peu, à cause de la construction en bois et de la disposition des canons. Au commeree ces raisons n'existent pas : on a été libre d'employer le fer, et profitant de tous les avantages qu'il présente, on a bientôt adopté des proportions jadis impossibles : la longueur, longtemps réduite à six fois, s'est bientôt étendue à sept fois et même à huit fois la largeur, et les analogies entre les navires de guerre et ceux du commerce ont totalement disparu. Aussi les compagnies ont-elles été successivement exemptées de la condition de construire leurs navires de manière à être à même d'être armés promptement. A l'époque où, comme je l'ai dit, les frégates et les corvettes à vapeur avaient à peu près les mêmes formes que les paquebots, c'était une sage prévision. Le gouvernement anglais s'était créé ainsi une réserve considérable : mais ce n'était qu'au prix de subventions plus élevées : car en forçant les compagnies à donner un échantillon plus solide à leurs navires, il les entraînait, d'un côté, à les construire d'une manière plus dispendieuse,

et de l'autre, il les privait des avantages d'un surcroît de fret, en les forçant à traîner une charpente plus lourde, quoique inutile au paquebot. Aussi une enqnête, récemment faite en Angleterre sur les services des lignes de paquebots subventionnés, a reconnu que tous les modes de transformation, combinés avec les compagnies, sont loin de présenter les ressources militaires qu'on supposait; qu'ils les entravent, les empêchent de faire marcher leurs navires aussi vite que les besoins des communications le réclament, et qu'ils sont onéreux à l'État, sans présenter les ressources qu'on en espérait. Cette même enquête parlementaire observe avec raison que si les grandes lignes postales, établies dans toutes les directions du globe, ont une importacce tous les jours croissante en temps de paix, elles en acquerraient une plus grande encore dans le cas d'une gnerre, non-senlement ponr le commerce, inquiet du résultat de toutes ses opérations, mais même pour l'État, qni, plus que jamais, serait intéressé à être tenu au conrant de ce qni se passe dans le monde, où sont répandues ses colonies. Comme il est évident que le paquebot qui porte des lettres et reçoit d'abondantes indemnités pour le faire avec rapidité, aura toujours une plus belle marche que le navire de guerre chargé de canons, il n'aura pas à craindre ce dernier, et le pourvoir d'nn armement nécessairement incomplet serait lui être nuisible, en ce qu'il en résulterait une diminution de vitesse et plus de chances d'être intercepté qu'avec nn grand sillage. Du reste, les compagnies sentent tellement ce besoin toujours croissant des communications rapides si vivement éprouvé à notre époque, qu'elles ne reculent devant ancnn sacrifice pour suivre les progrès continuels des machines à vapeur et renonveler leur matériel. Ainsi la compagnie Cunard de Liverpool en Amériqne, est celle qui a le mieux rempli ses engagements, et qni vient de faire construire des navires ayant de 700 à 1000 chevaux de force, et brûlant de 80 à 100 tonneanx par jour, qui ont coûté de 2 250 000 à 2 500 000 francs chacun, et ont obtenu une vitesse moyenne sur la carte, de 10 $\frac{5}{8}$, tandis que lenrs dernières traversées ont été parconrues en filant 12 nœuds et demi. Mais il était loin d'en être de même ponr toutes les lignes postales, surtout il y a quelqnes années; car, d'après nn relevé de l'Amirauté, la vitesse moyenne de tous les paquebots anglais était de 7,9 depuis 1848 jusqu'à 1851. Comparée à la dépense considérable des paquebots à roues, cette vitesse paraît très-médiocre, surtout relativement à l'économie et à la marche des navires à hélice, et en se rapportant aussi aux résultats obtenus récemment avec

la voile à bord de navires très-longs. La compagnie Cunard reçoit une subvention de 4333500 francs pour parcourir tous les ans une distance de 304876 milles marins, ce qui met la subvention à 14,21 francs par mille parcouru. La compagnie rivale américaine des paquebots Collins reçoit 4 633 000 francs pour 26 voyages doubles. La compagnie péninsulaire orientale reçoit 4 975 000 francs; le produit postal de ses paquebots est de 4288650 francs : ainsi elle ne coûte par le fait que 700 000 francs à l'État. Elle étend son service jusqu'en Chine et à Sydney, et son matériel s'élève à 51 navires dont 44 en activité, formant en tout 65 640 tonneaux et 15 640 chevaux de force. Son plus grand navire est *l'Himalaya*, de 3450 tonneaux, et de 60 pieds plus long que *le Duc de Wellington*; il coûte 3300 000 francs. (Voir la planche du commencement de l'ouvrage.) Ce peu de mots suffit pour montrer toute l'importance des grandes lignes de paquebots de l'Angleterre et l'espèce de tendance actuelle à remplacer le commerce irrégulier par des services aussi exacts que les chemins de fer, et s'étendant à tous les pays, même les plus éloignés, dès qu'ils ont une importance suffisante. Ce rapport de l'enquête conclut à laisser les compagnies libres de construire leurs navires comme elles l'entendent, et à ne leur imposer que des conditions de vitesse. Les lignes postales de l'Angleterre ont acquis une très-grande extension, et c'est une suite naturelle de l'importance et de la dispersion des possessions britanniques; elles ont été l'objet d'une étude spéciale de la part de M. Bourgois, dans un rapport très-intéressant adressé au ministre de la marine, et qui vient d'être livré à la publicité. J'engage donc à y recourir pour connaître l'état actuel des lignes de paquebots qui sillonnent régulièrement, et pour ainsi dire à heures fixes, presque toutes les mers de notre globe, et pour apprécier les progrès de la navigation par la vapeur, dans ceux des communications auxquelles elle a donné l'exactitude des relations par terre.

Le paquebot ne saurait plus, comme je l'ai dit, ressembler au navire de guerre, non-seulement par les matériaux de sa construction, mais encore plus par la distribution des poids qui le chargent. Le vaisseau a de lourdes batteries placées en étages et distribuées régulièrement d'une extrémité à l'autre; chaque partie de son armement pèse également, mais n'est pas soutenue par le déplacement d'une tranche d'eau égale; ses extrémités plus fines ne déplacent presque rien et ne portent leurs canons que parce qu'elles sont soutenues par le milieu du navire, dont la roideur seule les empêche de se déprimer. Plus le vaisseau sera

long et affiné dans l'eau vers les extrémités, plus cet effet sera sensible et plus la déformation sera rapide. Sur le paquebot, au contraire, la cargaison n'étant pas une artillerie distribuée de bout en bout, mais se trouvant placée dans la cale, il en résulte qu'il n'y a de place pour mettre des poids que là où il existe du déplacement, et que la coque elle-même est la seule charge des extrémités. Il n'éprouve donc pas la cause constante de déformation, qui agit sur les vaisseaux, même en eau calme et n'est compensée en partie que par le surcroît de lest placé au milieu. Par conséquent, fût-il construit en bois, le paquebot ne nécessiterait pas la solidité longitudinale du navire de guerre, et il serait susceptible d'être beaucoup plus allongé que ce dernier. Mais à cela vient s'ajouter la nature des matériaux de la construction ; dans un cas, le bois est nécessairement employé; dans l'autre, c'est le fer. Ce dernier présente au commerce, et surtout au paquebot, toutes sortes d'avantages (voir pages 257 et suivantes); il pèse moins et n'a, pour ainsi dire, pas d'épaisseur; par conséquent il laisse prendre plus de marchandises pour le même déplacement; la simple différence du bois au fer donne assez de tonnage pour mettre une machine auxiliaire. Mais, par-dessus tout, le fer s'unit parfaitement au fer et finit par former comme une seule pièce de tôle, tandis que, par sa nature plus molle et sa facilité de se fendre, le bois n'est lié que d'une manière très-imparfaite. Ce fameux tube en tôle, dans lequel passent les locomotives et leurs trains au-dessus du détroit de Menai, présente la plus grande preuve de la force de la tôle quand elle est bien disposée, et montre qu'il n'y a plus de limites à la dimension des navires que les convenances du commerce et la profondeur des ports. Aussi l'Angleterre tend tous les jours à augmenter la dimension de ses navires, et elle en projette de gigantesques. La rigidité du fer permet de changer toutes les proportions adoptées et de donner aux navires des longueurs jugées impossibles. Il est vrai que, de son côté, la machine à vapeur exempte le navire de conditions jadis indispensables. Ainsi, avec les voiles seules, la facilité d'évoluer et surtout de virer de bord étaient nécessaires; maintenant on gouverne toujours bien et on va où on veut avec une machine : il n'y a donc plus à songer à ces anciennes qualités tant recherchées. L'exemple des navires à vapeur a, pour ainsi dire, enhardi, et on fait des bâtiments à voiles ayant de cinq à six fois leur longueur, qui donnent d'excellents résultats pour la grande navigation; mais il est permis de douter qu'ils conviennent jamais à celle des détroits ou des côtes, parce qu'alors la

marche devient moins importante, et qu'au contraire la faculté de bien évoluer est indispensable.

Comme la résistance éprouvée dépend surtout de la quantité d'eau à séparer, c'est-à-dire de la maîtresse section, on a cherché à gagner du tonnage par l'allongement, et on est arrivé à des résultats remarquables : ainsi la *City of Norwick*, de 55^m,81 sur 7^m,93, c'est-à-dire dans le rapport de 1 à 7, jauge 471 tonneaux, a 200 chevaux de force et transporte 220 têtes de bétail avec 10 nœuds de vitesse; tandis que le *Tonning*, de 67^m,71 sur 8^m,23, c'est-à-dire dans le rapport de 1 à 8,21, prend 734 tonneaux, et pour la même puissance de 200 chevaux, transporte 360 têtes de bétail avec un sillage de 12 nœuds. C'est un navire très-remarquable par ses bonnes qualités, et il les a prouvées dans le nord de l'Écosse. Ainsi, en affinant les extrémités et altérant les proportions, c'est-à-dire en adoptant le rapport de 1 à 8,2 au lieu de celui de 1 à 7, on a obtenu près de 60 pour 100 de plus de place pour la cargaison, deux milles de vitesse de plus, et même de meilleures qualités à la mer, ce qui tient probable-ment à d'autres causes. On a été plus loin, et la *Wave Queen* a 64^m,96 de long sur 4^m,57; c'est le rapport de 1 à 14,2; le tirant d'eau n'est que do 1^m,525. C'est donc un bateau de rivière : cependant on dit qu'en comparant ses qualités à la mer (her performances) avec celles du *Christiana*, bon navire d'environ 170 pieds et dans la proportion de 6 à 1, on a trouvé que, pendant que ce dernier, avec une mer modérée, embarquait de l'eau, la *Wave Queen* n'en recevait pas à bord. Depuis, en faisant le service do Northaven à Dieppe, elle se comporta très-bien au large, mais en entrant dans le premier de ces ports, au moment où il y avait à peine assez d'eau sur la barre, elle fut jetée en travers par une lame; les passagers débarquèrent et, plus tard, elle fut relevée sans avoir le moindre dommage, ajoutant à tant d'autres un nouvel exemple de la solidité des navires en fer.

On admet tous les jours davantage que, pour de longs voyages, de grands navires peu nombreux sont préférables à beaucoup de petits; et à ce sujet, le *Times* a publié un aperçu du nombre de jours employés à parcourir la distance d'Angleterre en Australie, par des navires de diverses dimensions. Voici ce résumé :

	Nombre de jours de traversée en 1852.	en 1853.
Navires au-dessous de 200 tonneaux...	137	133
de 200 à 300...........	122	122
de 300 à 400...........	123	113
de 400 à 500...........	118	112
de 500 à 600...........	113	112
de 600 à 700...........	107	103
de 700 à 800...........	108	104
de 800 à 900...........	103	100
de 900 à 1000...........	102	95
de 1000 à 1200...........	96	91
de 1200 et au-dessus......	94	90

Les navires de 600 tonneaux ont un avantage de 24 jours sur ceux de 200, et ceux de 1200 en ont un de 22 jours sur ceux de 600, et par conséquent de 46 sur les plus petits. Chaque trajet, chaque ligne commerciale et chaque époque a ses dimensions : le *Great Western*, jadis trouvé énorme, serait maintenant trop petit ponr le service d'Amérique. Si on fait des comparaisons relativement aux distances, on trouve que les navires traversant l'Atlantique sont trop petits pour aller en Australie. Ce dernier voyage est de 25 000 milles; cette grande distance entraînerait l'allongement du navire lui-même et le porterait à 520 pieds. La possibilité du pont tubulaire a été longtemps mise en doute, et pourtant les locomotives passent dans son intérieur à chaque instant; il n'y a donc pas plus de difficulté à faire d'immeuses navires, et comme les vagues de la mer sont les mêmes pour tous, le grand navire en souffrirait moins que les petits, et il serait assez élevé pour ne pas embarquer d'eau. On a donc été porté à proposer un navire gigantesqne ayant assez de charbon pour aller à la Nouvelle-Hollande et en revenir ; et on ne peut plus dire, à l'époque actuelle, que ce soit un problème impossible ; mais seulement il est douteux que les frais immenses d'une telle construction puissent être couverts avant que le temps soit venu : car il est probable qu'il viendra, et tout tend à ce que la terre soit converte d'un réseau d'immenses lignes de paquebots, dont les départs réguliers absorberont presque tous les transports et ne laisseront plus aux autres navires que le cabotage. Il en sera sur mer comme sur terre avec les chemins de fer, qui réduisent les autres voitures au rôle d'omnibus ou de voitures de factage. L'Angleterre se lance actuellement dans cette voie avec une hardiesse admirable : possédant de toutes parts des colonies productives ou servant d'intermédiaire à des pays sans commerce national, elle s'établit l'entrepreneur

universel des transports. Tout favorise pour elle ce grand rôle : ses capitaux, sa richesse en charbon, ses immenses manufactures; et elle s'apprête à jouer, sur toutes les mers et sur une échelle immense, le rôle que nos grandes messageries avaient en France dans un très-petit cercle, en s'assurant le monopole des transports du monde, comme les compagnies Royale et Laffitte avaient celui de notre pays. Si des échecs attendent quelques-unes des associations de ces longues lignes de paquebots établies à grands frais, le pays n'en profitera pas moins; et il en sera de ces entreprises hardies comme de celle réputée plus téméraire encore, il y a une quinzaine d'années, lorsqu'il s'agit une première fois de traverser régulièrement l'Atlantique avec un vapeur. Si ces résultats sont dus à la machine à vapeur, il faut ajouter qu'ils ont été obtenus aussi par l'hélice; car avec les roues la navigation était trop dispendieuse pour qu'on songeât à les employer à d'autre transport qu'à celui des dépêches, et cela en recevant des subventions considérables. C'est l'hélice qui, en rendant au navire toutes ses qualités de voilier, a permis de transporter les marchandises au bas prix expliqué par M. Bourne (pages 149 et suiv.), et qui a plus utilisé la vapeur qu'elle ne l'avait encore été.

La navigation commerciale, et surtout la construction des navires marchands, se modifie complétement, et il est curieux de présenter ce qui se passe à cette époque de transition, d'autant plus remarquable que les principes de construction admis depuis que le navire à voiles est devenu capable de parcourir toutes les mers, se trouvent changés, et que les proportions adoptées pour l'emploi de la vapeur deviennent celles reconnues préférables pour la voile. Ainsi, le rapport de la longueur à la largeur a été longtemps celui de 4 à 1. Cette proportion semblait une limite extrême pour conserver au navire la qualité de bon évolueur indispensable quand les voiles sont le seul moteur. Mais l'expérience des navires à vapeur a montré que, pour la navigation isolée, le rapport de 1 à 6 ne s'opposait pas assez aux évolutions pour qu'on n'en profitât pas. Aussi maintenant l'on construit, sous le nom de *clippers*, des navires à voiles, en fer ou en bois, remarquables par leur marche et la quantité de marchandises transportées. Pour les longs trajets, ils luttent de vitesse avec les navires à hélice à puissance moyenne, et opèrent des traversées d'une durée regardée comme impossible avant l'adoption de ces nouvelles formes. Lorsque ces constructions sont en bois, elles ne dépassent pas cinq à six fois la largeur; mais en fer elles vont jusqu'à sept fois, avec l'emploi de la voile seule.

Il est constaté que ces navires se comportent d'une manière remarquable avec les plus grosses mers; et pour cela ils sont élevés sur l'eau, mais très-fins, surtout à l'avant, dont la forme aiguë s'étend jusqu'à la partie la plus haute. Ces navires ne sont nullement défendus de l'avant, et ils ne s'en comportent que mieux. A ce sujet, les idées des constructeurs du commerce ont totalement changé, même en Amérique, où jadis les avants devenaient presque carrés au niveau du pont.

Pour les navires à vapeur, le rapport de la longueur à la largeur est au moins de sept foie cette dernière; pour les constructions en fer, il s'étend maintenant à huit fois, et même à huit fois trois quarts, sur lee bâtiments de la compagnie Pacific, *le Lima* et *le Quito.* On a essayé de se rapprocher de ces proportions pour des constructions en bois destinées à des navires auxquels il était impossible de passer au bassin. *Le Solent* a huit fois sa largeur, ainei que *le Valetta* et *le Vectis;* ces derniers commencent à se déformer : ils sont construits avec deux couches de bordages obliques et coûtent fort cher. Aucun de ces navires n'est à hélice. Plusienrs navires, allongés après coup, ont acquis une marche supérieure avec le même moteur, ainsi qu'à la voile, et se sont bien conduits à la mer.

Les navires à hélice du commerce préfèrent encore souvent les machines à balancier, dont le poids égale celui de nos anciens appareils à roues, mais dont la marche n'est pas plus rapide. Ils y voient une garantie contre les avaries et les chômages dans des services qui ne comportent pas d'interruption. Pour de longs trajets, cette certitnde est un grand avantage, et les appareils directs, à mouvement rapide, ne sont guère adoptés que pour les caboteurs, dont les séjours fréquents dans les ports permettent de visiter et d'entretenir les machines. Il y en a même à haute pression, tels que *l'Avon* et *le Severn*, qui ont des machines de locomotives donnant 150 coups de piston et des chaudières directes verticales. Ces machines ont sept ans de service et sont en bon état.

L'une des applications importantes de l'hélice est le cabotage à vapeur, qui, en Angleterre, prend une très-grande extension et remplacera avant peu celui avec les voiles; car c'est pour de petits trajets que le moteur mécanique a le plus d'avantages : il fait sortir des ports et doubler des caps ou des détroits, alors que les calmes et les vents debout retiennent longtemps les navires à voiles et les empêchent souvent de profiter, de l'autre côté, d'un vent favorable au reste du trajet. Plus la distance est

courte, plus la vapeur est utilement employée; elle le devient peu, au contraire, pour de très-longs trajets, où ses difficultés et sa dépense augmentent, tandis que les chances défavorables du navire à voiles diminuent au point qu'il lutte de vitesse avec le vapeur. Mâtés légèrement et pourvus d'appareils qui leur donnent 9' à 10' de vitesse, ces nouveaux navires font une concurrence active à ceux à roues pour les transports des passagers et des marchandises. Ils sont actuellement employés avec succès au transport du charbon, malgré les difficultés inhérentes à ce genre de service. En effet, pour une denrée d'aussi peu de valeur, la vitesse n'est pas nécessaire, et si elle est obtenue par l'addition d'une machine dispendieuse, elle ne saurait être profitable que si les séjours pour charger et décharger sont assez courts pour ne pas laisser chômer l'appareil. Aussi, en Angleterre, on est arrivé à une célérité remarquable pour toutes ces opérations, et les pertes de temps du lestage ont été diminuées au moyen de compartiments étanchés qu'on remplit d'eau, ainsi que des sacs en gutta-percha, pour servir de lest. L'économie et la célérité de ces transports empêchent les anciens caboteurs de lutter contre cette nouvelle concurrence. Bien plus, le transport du charbon à de grandes distances va s'opérer aussi par des navires à hélice appartenant aux compagnies des paquebots, afin d'avoir régulièrement les approvisionnements nécessaires aux services. Ainsi, l'hélice s'applique à toutes sortes de commerce et de navigation, et si la vapeur a commencé la transformation des navires avec les roues, c'est à l'hélice qu'on devra de la compléter.

Les proportions de mâture et de voilure des navires à hélice varient suivant les parages, les distances à parcourir, et surtout le rapport de la puissance au tonnage. Plus celui-ci est considérable, c'est-à-dire plus la marche à la vapeur est rapide, moins la voilure a d'étendue, et elle arrive à ne servir qu'à empêcher de rouler, lorsque la marche s'élève à 13 ou 14 nœuds. En effet, cette vitesse est déjà une belle brise, et il y a peu d'occasions où le vent la domine assez pour être employé d'une manière avantageuse. Les voiles goëlettes sont exclusivement adoptées pour les trajets courts et rapides, les voiles carrées ne sont usitées que pour les longs voyages, avec des vitesses modérées; encore elles n'ont jamais les proportions des anciens navires à voiles, et les goëlettes restent toujours les voiles majeures et les seules usitées de gros temps. Les caboteurs n'ont que des bas mâts effilés, avec des goëlettes et des focs. La voilure représentée sur la planche VIII est, sans contredit,

celle qui convient à tout navire à hélice, tant que ses dimensions se prêtent à son emploi. Elle permet d'avoir beaucoup de toile et de remplir assez bien l'intervalle des mâts, tout en évitant de porter la mâture trop haut. Elle offre de bonnes voiles de plus près, et, pour le largue ou le vent arrière, le mât de misaine porte des voiles carrées suffisamment étendues.

Tels sont les principaux types de la marine nouvelle à hélice en Angleterre; et, afin d'en compléter l'aperçu, j'ai cherché à en grouper tous les éléments dans des tableaux trop faciles à comprendre pour exiger des explications. (Voir tableaux I et II.) Si ce travail aride est plus long pour l'auteur que des descriptions succinctes de quelques navires, il a pour le lecteur l'avantage de présenter une grande quantité de matériaux réunis, et surtout de permettre des comparaisons intéressantes.

J'ai cru devoir y ajouter un exposé de l'utilisation, établie sur une nouvelle base, sur le combustible brûlé. (Tableaux III et IV.) Car si l'on ne s'en réfère qu'aux calculs, d'après les puissances nominales ou celles déduites de l'indicateur (page 227 et suivantes), on n'obtient qu'un résultat théorique, très-utile il est vrai, mais qui n'indique pas clairement à quel prix les résultats ont été obtenus. Or, comme dans la production d'une force par la vapeur, c'est le charbon qui est la cause première et qui se paye, j'ai rapporté l'utilisation à cette cause, sans mentionner les détails de machine, et je l'ai calculé relativement au tonnage (*gross tonnage*) porté dans un document parlementaire sur l'appropriation des paquebots au service militaire. Dans les tableaux de ce rapport on a porté les consommations journalières de charbon de chaque navire, et comme le déplacement de chacun d'eux n'est pas mentionné, j'ai calculé en multipliant le tonnage par le cube de la vitesse et divisant par le charbon brûlé dans une heure, exprimé en kilogrammes. C'est la vraie utilisation économique d'un poids porté avec une certaine vitesse, et comme sur mer cette vitesse coûte le cube de la force, elle est portée à la troisième puissance. Ces résultats n'ont donc rien de mécanique, et ils font ressortir d'une manière remarquable les grands avantages économiques de la grande dimension des navires. Il est probable qu'ils ne sont que des moyennes assez vagues, car parmi les nombres portés dans le rapport anglais, il y en a dont on ne saurait guère admettre l'exactitude.

CHAPITRE V.

MACHINES A HÉLICE EN FRANCE.

En France, les premiers essais de l'hélice eurent lieu au commencement de 1843, peu après ceux de *l'Archimède* et un an avant ceux du *Rattler* en Angleterre; et leur réussite fut si remarquable, qu'on a peine à comprendre qu'ils n'aient pas été aussitôt imités, et qu'il ait fallu si longtemps pour vaincre l'inertie de l'habitude et faire apparaître l'hélice à côté des roues à aubes. Le premier navire à hélice français fut *le Napoléon* de la poste, maintenant nommé *le Corse*, construit au Havre par M. Normand, et qui ouvrit la voie aux nouvelles constructions en abandonnant complétement les anciennes formes, jadis utiles aux navires à voiles, mais entièrement nuisibles à la marche de ceux à vapeur. Ses façons effilées et gracieuses, faites pour diviser la mer au lieu de la repousser, sont restées un type aussi élégant que remarquable. Il en est de même de sa mâture et de sa voilure, qui, sans trop nuire à l'action de la vapeur contre les vents contraires, présente dans les circonstances favorables, un moteur assez puissant pour faire dépasser les navires à voiles ordinaires. Il fut pendant longtemps le navire à hélice le plus rapide; son sillage était de 10' à la vapeur et 12' à 13' avec l'aide des voiles : nos meilleurs navires à roues étaient alors bien loin de cette vitesse; les corvettes de 220 chevaux n'en approchèrent jamais, et les frégates de 450 ne la dépassèrent que dans leurs essais. Cette application heureuse était propre à donner l'élan et à faire regretter de ne pas avoir profité plus tôt des propositions adressées, en 1823, par le capitaine Delisle, et des expériences de M. Sauvage au Havre. Ce fut en 1841 que M. Normand et M. Barns proposèrent au ministre des finances, M. Humann, la construction d'un navire à hélice filant au moins 10 nœuds, avec l'obligation de le garder à leur compte s'il ne remplissait pas cette condition; l'appui de M. Boucher, inspecteur général du génie maritime, contribua beaucoup à faire adopter le nouveau propulseur.

Le Napoléon fut lancé le 6 décembre 1842, et fit en janvier 1843 des expériences sur huit hélices différentes; les principaux résultats sont

consignés sur le tableau ci-joint, ils montrent combien ces premiers essais avancèrent la question, et atteignirent ce qu'on a maintenant de plus parfait; depuis lors le propulseur du *Napoléon* n'a jamais été modifié. Avec les génératrices courbes on obtint une meilleure utilisation, et on reconnut un recul négatif. Cette particularité avait été déjà observée sur *l'Archimède* avec des hélices du même genre. Le propulseur en fonte de fer des essais commençait à se décomposer au bout de trois mois par l'action galvanique du cuivre du doublage, surtout dans les parties où la lime et le burin avaient enlevé la surface; il était encore très-solide, et aurait été à même de servir quelque temps. On remarqua que l'usure des coussinets antérieurs avait lieu suivant une direction qui s'écartait de 25° de la verticale, au lieu d'être suivant cette ligne, comme si elle n'avait été occasionnée que par le poids. Si cela se présente souvent, le serrage des coussinets devrait être oblique. Après avoir fait environ 300000 tours en dix mois, les coussinets étaient rongés; on les remplaça par du bronze plus dur. Ce fut pour visiter l'hélice, sans passer au bassin, qu'on eut l'idée ingénieuse du bâtardeau mobile dont on trouvera les figures dans le *Catéchisme du mécanicien à vapeur*, page 638.

Le Napoléon n'avait pas de puits, et l'hélice affolée ne parut pas diminuer sensiblement sa vitesse à la voile; mais on ne s'en assura que par le loch et non par des expériences comparatives avec d'autres navires. L'embrayage d'abord, placé à l'extérieur, ne fonctionna pas bien, et fut remplacé en dedans par deux plateaux clavetés sur les portions d'arbre, et réunis à volonté par des blocs de fonte introduits dans des mortaises creusées mi-partie dans chaque plateau.

Les qualités nautiques du *Napoléon* sont très-remarquables, et elles prouvèrent, dès cette époque, combien les avants effilés jusque dans les hauts diminuent les mouvements du tangage, et favorisent la marche contre une grosse mer. *Le Phocéen* de Marseille était le seul vapeur à roues qui eût encore adopté ces formes effilées jusqu'à la lice du plat-bord; et beaucoup de personnes pensaient qu'il ne se lèverait pas à la lame. L'expérience a prouvé le contraire; et si les navires fins s'élèvent moins, ils retombent de moins haut, et n'arrêtent pas le sillage par des chocs. L'utilisation du *Napoléon* est remarquable, eu égard à sa petite dimension, puisqu'elle surpasse celle de navires beaucoup plus grands. Mesurée au frein sur un point fixe, son hélice produisit une traction de 2250 kilogrammes; c'était 12 pour 100 de plus que pour les navires à roues à aubes de 120 chevaux comme lui.

La machine construite par l'ingénieur anglais, M. Barns, auquel nous avons dû depuis celles de *l'Ariel* et du *Charlemagne*, est en clocher et à basse pression; elle a toujours fonctionné d'une manière remarquable, même lorsque le remplacement des chaudières à carneaux par celles à tubes, a permis d'employer une pression plus élevée, et de gagner près d'un nœud, ainsi qu'une économie notable sur le combustible. Le diamètre des cylindres est de $1^{m},143$, et la course du piston $1^{m},067$; le rapport des engrenages est 1 : 4,345; les dents en bois de charme très-sec ont duré très-longtemps. La consommation de charbon a été de $4^{k},50$ par heure et par cheval.

Les dimensions principales du navire sont : longueur du debors de l'étrave au dehors de l'étambot au pont, $47^{m},52$; longueur à la flottaison, $46^{m},0$; largeur extrême hors bordage, $8^{m},52$; largeur à la flottaison, $8^{m},30$; creux de sous-râblure sur-bordé du pont au milieu, $4^{m},25$; profondeur de carène, $2^{m},575$; tirant d'eau avant, $2^{m},25$; arrière, $3^{m},59$; le dessus de l'hélice est alors immergé de $0^{m},78$; surface immergée du maître couple, $13^{mq},70$; volume de la carène, $364^{mc},4$ correspond à 374 200 kilogrammes; chevaux nominaux par mètre carré du maître couple, $8^{ch},76$: mètres cubes de déplacement par cheval, $3^{mc},33$.

Le Napoléon reçut trois mâts élevés et inclinés vers l'arrière de $0^{m},25$ par mètre; le mât de misaine seul eut des voiles carrées; la surface totale de la voilure est de 863 mètres carrés; la hauteur de son centre d'action au-dessus de la flottaison est $13^{m},40$, et la distance en avant du milieu de la flottaison du dehors de l'étrave au dehors de l'étambot arrière n'est que de 1 mètre, de manière à ne pas charger l'avant. La surface du parallélogramme circonscrit à la flottaison hors bordage est $373^{mq},32$, celle de la flottaison hors bordage est $258^{mq},81$. Le rapport de la surface totale des voiles à celle du parallélogramme circonscrit à la flottaison est de 2,312, et à celle de la flottaison 3,336. La longueur totale du grand mât est 24 mètres avec 3 mètres de ton, le mât de misaine 21 mètres avec 3 mètres de ton; le mât d'artimon 19 mètres avec $2^{m},50$ de ton; le grand mât de hune ne porte qu'une flèche en cul, et a $10^{m},60$; le petit mât de hune avec le perroquet a 13 mètres, et celui d'artimon $8^{m},30$; le beaupré a $5^{m},50$ en dehors de l'étrave; les cornes ont $9^{m},50$; la vergue de misaine $18^{m},20$, celle de petit hunier 14 mètres, et de petit perroquet 9 mètres; le bâton de foc a 12 mètres. Il y a deux focs et une trinquette de grande dimension. Au plus près à six quarts il atteignit 10 nœuds, c'est-à-dire plus qu'à la vapeur à toute volée, et

RÉSUMÉ GÉNÉRAL DES EXPÉRIENCES FAITES EN 1843 SUR LE PAQUEBOT A HÉLICE DE L'ADMINISTRATION DES POSTES *LE NAPOLÉON* (MAINTENANT *LE CORSE*), CONSTRUIT AU HAVRE PAR M. A. NORMAND. MACHINES DE 120 CHEVAUX A BASSE PRESSION PAR M. JOHN BARNES.

		m	
	Longueur de dehors de l'etrave au dehors de l'etambot au pont	47,32	
L	Longueur du dehors de l'etrave au dehors de l'etambot à la flottaison	40,00	$\frac{L}{e} = 0,54$
l	Largeur hors bordages extérieure	8,52	
	id à la flottaison	9,30	
C	Creux de sous-râblure sur-bordé de pont-en-abord au milieu de la longueur	4,25	$\frac{C}{e} = 0,31$
P	Profondeur de carène	0,573	$\frac{P}{e} = 0,31$
	Tirant d'eau des calculs. AV $2^m,25$, AR 3^m 56 moyen	2,92	

A ce tirant d'eau, le dessus de l'hélice est à $0^m,76$ en dessus de la flottaison.

S	Surface immergée du maître-couple	$13^{m2},70$	$\frac{S}{8 \times P} = 0,016$
V	Volume de la carène	$364^{m3},40$	$\frac{V}{L \times 8 \times P} = 0,370$
	Correspondant à 374,200 kilogrammes.		
	Chevaux nominaux par mètre carré du maître-couple	$6^{ch},76$	
	Mètres cubes de déplacement par cheval	$3^{m3},33$	

MACHINES.

Diamètre des pistons	45^{pou}	$1^m,143$
Course des pistons	42	1 ,067
Rapport des engrenages	$\frac{176}{29}$	= 4 ,343

VOITURE.

Brick-goëlette à trois mâts.

Surface totale des voiles	$863^{m2},40$
Hauteur du centre de surface au-dessus de la flottaison	13 ,40

DATES des EXPÉRIENCES	NUMÉROS des hélices.	NOMBRE des ailes.	DIMENSIONS DE L'HÉLICE. Diamètre.	PAS. Entrée.	PAS. Sortie.	PAS. Moyen.	RAPPORT du plein au cercle circonscrit.	TIRANT D'EAU moyen.	SURFACE du maître-couple.	RAPPORT de la surface du cercle circonscrit à l'hélice, à celle du m. c.	MACHINES. NOMBRE de coups de piston par minute	PRESSION effective supposée sur le piston.	PUISSANCE BRUTE (1/2 puissance à l'indicateur).	VITESSE du bâtiment en nœuds.	RAPPORT à celle du propulseur. (Pas moyen.)	PUISSANCE par mètre carré du m. c. correspondant à 10 nœuds de vitesse	NOMBRES proportionnels aux chiffres de la colonne précédente.	OBSERVATIONS.
1843.			m	m	m	m		m	m²			Livres anglaises par pouce carré anglais.	Chevaux de 33.000 lbs à 1 f. ou 76 k. m.	nœuds.		chevaux.		
Janvier 25	A	3	2,29	2,70	4,20	3,50	1 00	2,67	13,43	0,306	16,6			9,45	1,010			Vitesse mesurée au loch de Massey, ainsi que dans les expériences suivantes.
— 26	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	17,1,0			9,01	1,110			Mer houleuse, au plus près du vent, sous le foc, la misaine et la goëlette. (Voilure de fortune empruntée au vapeur *le Sphinx*.)
— .... —	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	17,3/1			9.65	1.126			Même allure; mer moins grosse.
— .... —	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	16,1/2			7,74	0,652			Sans voiles; moyenne de deux expériences. Forte houle
Février 14	»	»	»	»	»	»	»	2,80	12,70	0,324	17.50	17,0	100,4	8,50	0,986	10,87	124	Vitesse mesurée sur des distances exactes jalonnées à terre. Moyenne de quatre parcours. Mer calme.
— 20	A'	»	»	0,80	4,10	»	0,76	2,01	12,73	0,322	19,13	»	109,7	9,17	0,973	11,13	107	Mer calme. Quatre parcours devant les bases mesurées à terre.
— 21	»	»	»	»	»	»		2,63	12,87	0,320	19,00	»	109,0	9,01	0,982	11,57	112	Mer calme. Quatre parcours devant les bases mesurées à terre.
Mars......... 6	»	»	»	4,10	2,80	»		»	»	»	20,43	»	117,3	7,25	0,770	23,91	239	Même hélice que dans l'expérience précédente, mais la convexité tournée vers l'arrière.
— 16	A'	»	»	2,90	4.00	»	0,53	»	»	»	20.00	»	114,7	9,50	0,964	10,40		Pas d'expérience exacte. Vitesse mesurée au loch.
— 22	B	»	2,12	2,37	2.37	2,37	0,334	»	»	0,913	32,63	»		10,09	0,901			Hélice venue d'Angleterre, appartenant à *l'Archimède*. Vitesse mesurée devant les bases jalonnées. Mer calme. Vapeur étranglée à l'entrée des cylindres
— 29	A'''	»	0,29	0.65	4,00	3,57	0,47	»	»	0,320	21,70	17,00	124,5	9,67	0,887	10,70	103	Surface réduite vers la circonférence, et seulement à l'avant.
Avril 27	C	»	0,31	2 92		2,92	0,67	2,02	13.70	0,306	26,00	»						Un peu de houle. Pas d'expérience de vitesse.
Mai.......... 2	»	»	»	»		»	»	»	»	»	26,40	13,00	120,6	9.30	0,903	10,36	100	Mer calme. Quatre parcours devant les bases mesurés à terre.
— 10	»	»	»	»		»	»	»	»	»	20,13			11,40	0.980			Expérience à la voile et à la vapeur. Faible brise, au plus près. Vitesse mesurée au loch de Massey
Juin 21	»	»	»	»		»	»	2,94	13,07	0,302	26,01	15,00	134,7	9.70	0,887	10,04	103	Expérience faite devant la digue de Cherbourg. Pression de la vapeur, 24c.5.
— 23	»	»	»	»		»	»	»	»	»	20,33			11,72	0,971			Sous voiles; expérience d'une heure et demie au loch de Massey. On avait trouvé au loch ordinaire jusqu'à 12n,6, avec 30 1/2 tours.
Juillet 11	D	»	»	3,60		2,03	0,55	2,96	14 03	0,299	27,23	15,00		9,30	0,863			Beaucoup de vent et de mer, le navire roulant beaucoup
— 11	E	4	»	»		»	»	2,935	13,83	0,303	26,57	»	134,4	9.725	0,832	10,57	102	Jolie brise de l'épaule ou de la hanche. Quatre parcours devant les bases mesurées à terre.

grand largue avec voiles et vapeur, il a filé 14 nœuds. Sa marche moyenne est remarquable relativement à celle des navires à roues, en ce qu'elle égale le maximum de vitesse imprimée par la machine en calme, tandis qu'avec les roues à aubes il y a une différence de $\frac{1}{5}$ à $\frac{1}{4}$. *Le Napoléon* n'a pas perdu sa marche, et il le doit sans doute à la perfection des constructions de M. Normand, dont les navires en bois ne se déforment pas plus que ceux en fer.

En 1843, M. Labrousse, actuellement capitaine de vaisseau, excita l'intérêt de la marine par son Traité des propulseurs sous-marins. Il faisait connaître les formes et les propriétés de cette nouvelle manière d'employer la vapeur, donnait un aperçu d'une partie des essais et des inventions dont elle avait été l'objet avant d'attirer l'attention publique, et rappelait le mémoire du capitaine Delisle publié en 1823, époque où la question de la navigation à vapeur était à peine résolue, et où l'hélice aurait été peut-être adoptée au lieu de la roue à aubes, si elle avait été suffisamment connue. Il rendait compte des essais tentés en Angleterre, comparait les différents propulseurs et présentait une sorte de programme des expériences à faire pour établir clairement les proportions convenables de l'hélice. Il proposait en même temps un projet de corvette de 300 chevaux : c'était celui du *Chaptal*, exécuté depuis avec succès, et dont la mâture est restée un excellent type, qu'il serait à souhaiter de voir imiter. Enfin, pour compléter les connaissances de l'hélice à cette époque, M. Labrousse joignait à son travail la traduction d'un appendice à l'ouvrage anglais de Tredgold, par M. Galloway, et il le complétait par des études théoriques. Bien que cet ouvrage ait été publié au moment où on commençait à s'occuper des propulseurs sous-marins, il renferme des documents qu'il est toujours utile de consulter.

MACHINE DE *LA POMONE*.

Au commencement de 1843, M. le baron de Mackau, ministre de la marine, accueillit les propositions de M. le comte de Rosen, représentant d'Éricsson, pour la construction d'une frégate de 46 canons, à vapeur et à hélice. Après s'être adressé à plusieurs ateliers, M. de Rosen s'entendit avec M. Mazeline pour la confection d'un appareil de 220 chevaux, articulé directement à l'hélice, dont le système devait être celui d'Éricsson; l'appareil entier se trouvait sous la flottaison, ainsi que les chaudières tubulaires, et, avec l'eau comprise, toute la machine ne

pesait que 170 tonneaux. La vitesse de la frégate à son tirant d'eau en charge, avec une pression totale de deux atmosphères aux chaudières, et avec les $\frac{3}{4}$ de la course d'introduction devait être au moins de 5 nœuds pour 40 tours de l'hélice. Si ces conditions n'étaient pas remplies, l'appareil restait aux entrepreneurs. Certes, la vitesse de 5 nœuds imprimée à une frégate par un appareil ne pesant que 170 tonneaux serait regardée maintenant comme un résultat médiocre; mais en 1843 on n'avait que des appareils d'un poids énorme, et dont la force réelle était de beaucoup au-dessous de celle appelée nominale, tandis que c'est l'inverse actuellement.

On employa d'abord une hélice Éricsson, proposée par M. le comte de Rosen : elle était formée de fortes feuilles de cuivre réunies par des rivets et des boulons, et elle avait trois rayons courbes et six ailettes. La crainte de pratiquer une cage dans le massif en bois de l'étambot fit donner beaucoup d'épaisseur à ce dernier pour que, traversé par l'arbre, il soutînt l'hélice au delà de sa face arrière. Le gouvernail fut remplacé par deux sortes de battants de porte cachés, dans une cavité de chaque côté du massif d'étambot, quand elles n'agissaient pas. Chacun de ces battants de porte avait une barre disposée de manière que, lorsque celle du navire était droite, les deux battants restaient collés contre l'étambot, et qu'en la plaçant sur le côté un seul s'ouvrait. Il fut impossible de gouverner de la sorte, la frégate ne sentait pas sa barre et le manque de pression entre l'étambot et le battant ouvert causait de tels efforts qu'il était impossible de l'ouvrir entièrement. Après de longs essais il fallut renoncer à ce système et adopter ce que l'expérience prouvait sur d'autres navires, c'est-à-dire pratiquer un trou en avant de l'étambot et un puits pour remonter l'hélice comme sur *le Chaptal;* disposition jugée nécessaire pour conserver les qualités de navire à voile. L'adoption du puits entraîna celle d'une hélice à deux branches à la place de celle d'Éricsson. Au mois de janvier 1848, *la Pomone*, allongée sur l'arrière et munie d'un puits, fit des expériences satisfaisantes, et il ne resta que des modifications à faire au système de démontage. Il fut d'abord opéré par des chaînes, des vis sans fin et des cliquets, bientôt remplacés par une caliorne, avec laquelle les mouvements de l'hélice s'opérèrent facilement. La frégate fila 7',0 à la vapeur, ce qui était très-satisfaisant.

M. Mazeline, ingénieur civil du Havre, exécuta pour *la Pomone*, en 1845, une sorte de machine en clocher, placée horizontalement, dont il

a depuis modifié la disposition de manière à lui faire occuper moins de place. Celle dont il s'agit, a deux cylindres placés en travers et en sens inverse, l'un sur l'avant de l'autre et agissant sur le même arbre à manivelles (voir pl. II). Chacune a deux tiges de piston placées dans un plan vertical et emmanchées dans une sorte de té, ou traverse, des extrémités de laquelle partent des tiges égales, de manière à faire un triangle isocèle dont le té est le petit côté; il a cependant assez de largeur pour que la manivelle tourne dans son intérieur. Celle-ci est entraînée par une bielle en retour vers le cylindre, qui est articulée à un tourillon uni à l'extrémité des deux tiges égales dont j'ai parlé. Il en résulte que ce triangle, entraîné par les tiges du piston, communique son mouvement à la bielle et à la manivelle. Les tiroirs se trouvent à la partie supérieure du cylindre et ont une détente variable opérée par une glissière ouvrant et fermant les orifices du dos de la boîte à tiroir.

La pompe à air, au lieu d'être à simple effet et d'avoir le grand diamètre de celles employées habituellement, est aspirante et foulante par ses deux extrémités; elle a la même course que le piston et est conduite par une tige unie au grand té dont il a été question : cette disposition n'avait pas encore été employée. Les clapets sont en toile à voile et appuient sur une sorte de grillage; ils ferment très-exactement, durent fort longtemps et sont préférables aux clapets métalliques pour des rotations rapides. Il est inutile de s'occuper davantage de cette machine, en ce qu'elle offre beaucoup d'analogie avec celles construites depuis par M. Mazeline, et qui seront détaillées plus loin, page 427.

L'arbre de l'hélice est formé de trois pièces : la première, en fer, unie aux machines par sa manivelle; la seconde, en tôle et creuse, et la troisième, en fer forgé, a sa partie arrière revêtue d'une couche de cuivre fondu, qui se termine, en sortant du contre-étambot, par un tronc de pyramide hexagonal destiné à s'engager dans un creux semblable du moyeu de l'hélice pour réunir leurs mouvements, c'est-à-dire embrayer. On effectue cette opération au moyen de fortes vis parallèles à l'arbre, et destinées à le rentrer ou à le faire sortir du trou pratiqué dans le contre-étambot. L'extrémité avant de l'arbre glisse alors dans l'intérieur de la portion en tôle comme un tuyau de longue-vue et s'y trouve maintenu dans le sens de la rotation par des nervures. Il en résulte qu'en marche la poussée est supportée par les vis seules et par le manchon dans les oreilles duquel elles tournent. On a renoncé aux arbres creux et à ce système de désunir l'arbre et l'hélice : il n'a

d'autre avantage que de n'exiger qu'un petit trou dans l'étambot. La partie de l'arbre, qui est dans l'eau, est entourée de cuivre rouge fondu sur le fer, qui avait été porté à la température de la fusion du cuivre; cette enveloppe est maintenue par des goujons. Le cuivre rouge est trop mou pour être exposé à des frottements, et maintenant on emploie du bronze, ou quelquefois on fait toute cette partie de l'arbre avec ce métal composé.

Pour remonter l'hélice de *la Pomone* il faut d'abord la placer horizontalement pour ouvrir les portes ou clapets du puits, ensuite verticalement pour la maintenir par le loquet passé à la partie supérieure du châssis, enfin rentrer l'arbre et hisser l'hélice. A chaque fois il faut crocher la caliorne, ce qui expose un homme, quand il y a de la mer. Une nouvelle hélice fit obtenir une vitesse de 7',8; elle avait 4m,50 de diamètre, un pas régulier de 6m,75, et deux ailes longues de 1m,125 dans le sens de l'axe.

Comparée à la voile avec la frégate *l'Iphigénie*, *la Pomone* marcha mieux, même avec son hélice affolée et quoique sa voilure fût moins étendue; mais elle eut un avantage encore plus marqué en la démontant, surtout avec de petites brises à ne filer que 4 à 5 nœuds. D'après les observations faites à ce sujet, *la Pomone* gagnait de 0,207 nœud par heure, en filant 4 nœuds avec son hélice relevée, et, dans tous les cas, elle avait plus d'avantage à la relever. Ainsi, pendant qu'elle gagnait *l'Iphigénie* de 0,29 nœud par heure, avec le propulseur affolé, elle avait un avantage de 0,50 nœud en le démontant. Les virements de bord ont été bien effectués dans les deux cas, mais on n'a pas essayé ces évolutions avec des brises faibles ou avec de la mer. Ces différences ne parurent pas alors assez grandes pour admettre que l'hélice retardait la marche et qu'il était nécessaire de la remonter. Malgré leur peu de durée on en conclut que les hélices pouvaient rester en place, en visitant le coussinet arrière par le procédé ingénieux employé depuis par M. Dupuy de Lôme.

Les changements opérés à l'arrière de *la Pomone* retardèrent beaucoup les questions relatives à l'hélice, et pendant quelque temps on n'appliqua le nouveau propulseur qu'à de petits navires. Les vaisseaux munis de machines, en Angleterre, et désignés sous le nom de *Guard ships*, ne présentaient pas encore des résultats assez concluants pour établir des projets; leur peu de réussite portait plutôt à l'expectative. Aussi on n'entreprit que le yacht *la Reine Hortense*. Il fut construit en fer par M. Nor-

mand, avec des formes plus fines et plus élégantes encore que celles du *Napoléon* de la poste. Malheureusement sa machine, quoique occupant plus de 26 mètres de longueur, ne réalisa que la moitié de la force nominale de 320 chevaux. La chaudière éclata sous une pression presque double de celle marquée sur les timbres et tua quatorze hommes, plus tard elle fut changée : mais un cylindre fut défoncé, ainsi que le condenseur, et il faut maintenant changer ces parties, la pompe à air et le mouvement des tiroirs : de sorte que ce charmant navire, lancé en 1846, vient de commencer à être réellement employé.

MACHINE DU *PINGOUIN*.

En 1843, on construisit le petit navire en fer *le Pingouin*, qui reçut une hélice à six ailettes d'Éricsson; elle avait 2 mètres de diamètre, 1 mètre pour le tambour et 4 mètres de pas. La machine à cylindres oscillants, directement articulés à l'arbre, fut construite par M. Mazeline du Havre. Avec cette première hélice, *le Pingouin* n'eut qu'une vitesse de 5',6 avec 70 à 80 tours par minute, tandis qu'une nouvelle hélice en fer forgé, et à trois branches fortifiées par un cercle, donna 6',9 et 7',5. La chaudière était tubulaire et fonctionnait à une pression d'une atmosphère et demie effective.

MACHINE DU *CHAPTAL*.

La même année, on construisit à Asnières, près de Paris, la corvette à vapeur *le Chaptal*. Les défauts de la tôle, pour la construction des navires de guerre, n'étant pas encore constatés, le nouveau navire fut construit en fer, et malgré ses grandes dimensions (54 mètres de long sur 9^{m},58 de bau) il fut lancé au mois de décembre, dans la Seine, et conduit à Rouen pour recevoir ses machines. On admit, dans la construction de ce navire, les idées émises par M. Labrousse, et l'on disposa, pour la première fois, l'hélice dans un châssis, de manière à la remonter hors de l'eau, pour que le navire, changeant facilement de rôle, devînt un vrai voilier et ne fût pas arrêté par son propulseur.

L'appareil moteur fut confié à M. Cavé, qui a souvent devancé son époque et qui exécuta des cylindres oscillants pour bateaux à vapeur de mer en 1829. Cette fois il proposa, en 1843, d'articuler directement l'hélice à la machine, et de faire tourner cette dernière avec presqu'au-

tant de rapidité que les locomotives. Il s'engageait à faire 70 coups de piston à la minute, alors que les machines les plus rapides ne faisaient que 25 à 30 tours, quand elles étaient de petite dimension, et de la sorte il obtint un appareil entièrement sous la flottaison, aussi léger que celui de *la Pomone*, et n'occupant que 6^{m},40 de long sur 5^{m},80 de large et 3^{m} de hauteur. Cet appareil est composé de quatre cylindres horizontaux posés en regard sur une grande caisse de fonte A (fig. 1, 2 et 3, pl. XIII) formant la plaque de fondation et le condenseur. Le renvoi de mouvement des pistons est formé, pour chaque cylindre, d'une traverse E, dans laquelle est emmanchée la tige D : chacune de ses extrémités est tournée et introduite dans l'œil d'une sorte de bielle pendante F, qui vient s'articuler à une des manivelles O et O'. Les cylindres ne sont pas exactement situés en regard, afin de laisser sur chaque bouton de la manivelle, la place de mettre les deux bielles l'une à côté de l'autre, comme le montre la projection horizontale fig. 1. Le diamètre des pistons est 1 mètre, et la course 0^{m},70; l'introduction de vapeur à une atmosphère de pression effective a lieu pendant les 0,6 de la course.

L'arbre est formé de quatre paires de manivelles placées deux à deux en vilebrequin, de manière que deux paires parallèles reçoivent le mouvement des quatre bielles pendantes F des cylindres en regard et soient en même temps à angle droit des quatre manivelles des deux autres cylindres. Cette disposition a les mêmes avantages de régularité de mouvement que les autres appareils à quatre cylindres, relativement à ceux qui n'en ont que deux. Mais elle rend l'exécution de l'arbre très-difficile, en ce que ces huit manivelles sont de la même pièce de forge et exposées à des efforts d'autant plus considérables que le mouvement de la machine est plus rapide. Aussi le premier arbre du *Chaptal* a éprouvé des avaries qui l'ont fait changer : il avait 0^{m},25 de diamètre à la première manivelle, 0^{m},20 au milieu et 0^{m},18 à la fin : c'était plus faible que d'habitude; mais on pensait que l'absence des chocs habituels des aubes rendrait ces dimensions suffisantes. Le second arbre eut 0^{m},27, 0^{m},26 et 0^{m},25, et celui de l'hélice 0^{m},22.

Avec les machines directement articulées, il ne faut pas que l'impulsion de l'hélice se fasse ressentir sur la machine, sans quoi elle fausserait les manivelles; c'est ce qui a exigé les différents systèmes de buttée dont il a été question page 330. Pour résister aux efforts angulaires des bielles, les traverses E des tiges de piston ont chacune de leurs extrémités engagée dans une glissière ou bloc à faces parallèles,

courant entre deux guides ou coulisses G, soutenues par la plaque de fondation dans le prolongement de l'axe des cylindres. Ces traverses, en se prolongeant au delà des glissières, servent à faire mouvoir les pompes alimentaires et les pompes de cale II, au moyen de leurs tiges HH. La vapeur arrive par les tuyaux K et se trouve réglée par le papillon *b* placé dans l'intérieur; elle entre dans la boîte du tiroir à détente L, et de là dans celui de distribution L'. Le premier est formé, pour chaque cylindre, d'une glissière M, entraînée par une tige commune N, puisque le mouvement des pistons lié par les bielles pendantes est toujours contraire dans chacun des cylindres. Cette tige de jonction est menée par le milieu de sa longueur, au moyen d'un levier pendant O, qui reçoit son impulsion d'un excentrique particulier Q, placé en dehors de ceux de distribution. Ce renvoi de mouvement est opéré au moyen d'une tige particulière Q' articulée au point *d*, avec un levier introduit dans un fourreau *f* et taillé en crémaillère, de manière qu'une vis sans fin prise dans ses dents et tournée par la manivelle à main *h* fasse varier sa longueur : et par suite, l'amplitude produite par l'excentrique sur le mouvement de la glissière M. L'interruption de l'écoulement de la vapeur par le tiroir s'opère ainsi au point voulu de la course du piston et produit la détente variable.

Le tiroir de distribution est une simple plaque qui, en se promenant sur les deux orifices de communication avec le cylindre, ouvre tantôt l'un, tantôt l'autre. Il ne produit par conséquent qu'un seul des effets nécessaires au mouvement du piston, et le second, c'est-à-dire l'évacuation, est effectué par la partie basse du cylindre, au moyen de deux orifices débouchant directement dans le condenseur, et alternativement ouverts ou fermés par des glissières Y conduites par la tige X. Le mouvement de l'excentrique est communiqué à ces tiroirs inférieurs au moyen de leviers S unis à leur extrémité supérieure avec le levier pendant R, en même temps que les tiges V des tiroirs. Les leviers opposés S se trouvent réunis par la tringle P, pour que les évacuations des deux cylindres soient coordonnées comme les introductions, et ils tournent sur un tourillon *l* passé dans un support à fourche fixé sur le fond du cylindre. La position des orifices d'évacuation est très-avantageuse dans un appareil à rotation rapide, en ce qu'à chaque coup de piston l'eau qui se trouverait dans le cylindre est directement évacuée vers le condenseur. Le changement de marche est produit, comme dans les locomotives, au moyen de deux excentriques, l'un pour aller de l'avant, l'autre de l'ar-

rière, disposition facile à manœuvrer, qui n'avait pas encore été appliquée sur mer. On les embraye à volonté à l'aide d'enclanches ou pieds de biche *j* qui terminent les barres d'excentriques KK, et le grand levier M' enclanche pour l'une ou l'autre marche, de manière à renverser le mouvement d'une manière presque instantanée. Toutes ces parties de l'appareil ont toujours bien fonctionné; l'aire des orifices a été suffisante, même avec une vitesse de 79 tours à la minute. Les articulations des bielles et les paliers de l'arbre ont éprouvé de fréquents échauffements, parce que leurs portées avaient les anciennes proportions et n'avaient pas une surface suffisante pour un mouvement rapide, qui force à donner une pression moindre à chaque point des coussinets. Mais les bâtis, les glissières et les cylindres n'ont jamais éprouvé la moindre flexion; et, en effet, leur disposition est solide et compacte par elle-même, tout en conservant l'avantage précieux d'avoir des bielles ayant sept fois la longueur des manivelles; tandis que dans la plupart des appareils, et notamment ceux de Boulton et Watt et du Creuzot, il a fallu donner à la machine 8^m ou 11^m de large et tenir les cylindres à 6^m de distance, pour avoir à peine quatre fois la manivelle. C'est dans le but d'obtenir cette longueur de bielle dans un petit espace et d'éviter les efforts et les frottements des glissières, qu'on a inventé divers renvois de mouvement, et notamment les appareils à fourreau de M. Penn.

Le condenseur *z*, en s'étendant sous les cylindres, forme une plaque de fondation très-solide et réunit toutes les parties de l'appareil : il est divisé en deux portions principales, l'une est sous la paire de cylindres de l'avant, l'autre sous celle de l'arrière, et chacune de ces paires n'a qu'une pompe à air commune D'. On adopta d'abord le système des pompes foulantes : il en résultait plus de simplicité et la suppression des clapets du piston, ce qui semblait convenir à la rapidité du mouvement. Mais les clapets métalliques produisirent des chocs violents et un bruit, qui firent revenir aux pompes aspirantes, auxquelles on mit ensuite des clapets en toile à voile : et le vide qui, avec les premières, n'était que de $0^m,45$ à $0^m,57$ de mercure, atteignit $0^m,70$. Cette pompe est mue par un excentrique J' monté sur l'arbre, et dont la tige I' est directement articulée sur le piston, de manière à osciller dans un tuyau ovale fixé sur le piston et qui frotte dans une boîte à étoupe du couvercle, comme le fourreau des machines de M. Penn. Cette disposition a mieux fonctionné, malgré la trop grande rapidité du frottement des surfaces de l'excentrique. L'injection du condenseur arrive par les

tuyaux A′ : elle est réglée par des robinets *n* placés au débouché de ces tuyaux dans le condenseur : en outre, les robinets B′ interceptent l'entrée de l'eau de mer, s'il y a des avaries dans les tuyaux ou des réparations à faire dans le condenseur. L'eau tiède expulsée par la pompe à air s'écoule par le gros tuyau C′.

L'arbre est divisé en trois parties réunies par des manchons S′ : il est porté sur sa longueur par plusieurs paliers *n*′ ; après avoir traversé la boîte à étoupe, près de laquelle il est soutenu par un palier, il sort du navire et se termine dans le puits par une partie plate *q*, ayant sur ses deux faces une largeur à peu près égale au double du diamètre. Cette saillie s'introduit entre les branches de la fourche V′ qui termine sur l'avant l'arbre spécial de l'hélice ; de sorte que le mouvement de l'arbre intérieur entraîne le propulseur dans les deux directions. Ce fut, comme on l'a dit page 309, l'hélice du *Chaptal* qui, la première, fut disposée de manière à être facilement démontée. On a également détaillé page 331 le moyen employé pour résister au frottement de la poussée de l'hélice. Dans le principe, on a monté l'hélice du *Chaptal* avec des chaînes crochées aux deux coins des cadres et tirées par des treuils : maintenant on emploie des caliornes et une bigue. Pour cela, il faut la placer dans un plan vertical au moyen d'un repère intérieur, afin que la fente du bout de son arbre et le plat de celui de la machine se trouvent dans le plan de l'étambot. Il en est de même pour la descendre et la réunir à la machine. Comme celle-ci n'amènerait à cette position qu'après de longs tâtonnements, on y parvient au moyen d'une roue d'angle *a*′ clavetée sur l'arbre, et dans laquelle engrène un pignon d'angle *b*′, recevant le mouvement d'un arbre qui monte sur le pont, comme on l'a dit page 308. Presque toutes les hélices ont un appareil semblable auquel s'applique un petit cabestan lorsque les dimensions deviennent grandes. *Le Chaptal* n'a pas d'embrayage ; la facilité de démonter l'hélice a fait négliger ce moyen de la rendre indépendante de la machine.

La première hélice employée était à quatre ailes de 3 mètres de diamètre et de 6 mètres de pas ; elle était trop petite, et permettait à la machine de tourner trop vite. La seconde hélice avait $2^m,94$ de diamètre, 6 mètres de pas et six ailes faites deux à deux et réunies à l'arbre dans les positions convenables. Leur surface totale équivalait aux deux tiers de celle d'une révolution complète. On obtint avec elle une vitesse de 10,3 avec un recul de 30 pour 100.

La mâture du *Chaptal* me paraît parfaitement assortie au rôle de navire

mixte, et, grâce à quelquss dispositions mécaniques d'un usage facile, M. Labrousse y a réuni les avantages dee mâts à hunes et de ceux à pible. Elle est composée de trois mâts, et un vapeur ne saurait en avoir moins puisqu'il est très-long; les mâts de hune sont pris dans des élongis qui ne s'étendent pas au delà de la caisse et ne portent pas de hune. Il en résulte que toute la partie haute de la mâture n'est tenue que par les galhaubans; mais aussi qu'elle ne présente pas au vent les hunes et toutes les manœuvres dormantes des vieux gréements. La surface de voilure est de 1317 mètres carrés pour le grand foc, la brigantine, les basses voiles carrées, les huniers et les perroquets. Il y a en plus les voiles goëlettes, le petit foe et la trinquette qui présentent une belle surface pour le plus près. Le galhauban du travers a un arc-boutant à charnière qui s'applique le long du mât lorsqu'il ne sert pas. Les huniers n'ont ni cargues, ni palanquins, ni écoutes; ils tombent à l'abri des basses voiles, en larguant la drisse, en abraqnant le raccage, qui ressemble à une drosse, et en appuyant le balebas. L'avant des élongis est terminé par un plan incliné garni d'un paillet suifé, de manière à ne présenter aucun obstacle à la vergue lorsqu'elle descend sur le bas étai. S'il s'agit de l'amener sur le pont, il suffit de prendre une des deux branches en fer, qui terminent le haut du bas étai, de la passer en dessus de la vergue de hune et de la tendre avec un ridoir, jusqu'à ce que la première branche puisse être larguée; alors la vergue de hune s'amène carrément jusque sur le pont. Cette opération ne dure que quelques minutes et n'offre jamais les difficultés de la manière habituelle de dégréer les vergues de hune. Aussi, aucun navire à vapeur ne fait disparaître plus promptement ses vergues et ses mâts, quoiqu'il déploie une vaste surface de voilure. Tous ces avantages portent à souhaiter que la mâture du *Chaptal* soit fréquemment employée, même sur des navires plus grands que cette corvette. *Le Chaptal* et les navires du même genre accompagnent ceux à voiles avec facilité, sans brûler un kilo de charbon, tandis que les vapeurs à roues sont forcés de se rendre isolément à leur destination, en brûlant des centaines de tonneaux.

MACHINES DU *FAON*.

En 1846, l'administration des postes fit construire le paquebot *le Faon* dans les chantiers de M. Normand, et d'après les plans de M. Moissard, ingénieur de la marine, auquel on devait déjà d'excel-

lents types de paquebots à roues. Cette fois il surpassa ce qui avait été fait de mieux, et atteignit avec l'hélice, et malgré la petite dimension de son paquebot, une vitesse de 12 et souvent 13', mesurée par l'intervalle de temps mis à parcourir l'espace qui sépare Calais et Douvres; la moyenne pour tous les temps est de 12,30, et, avec voile et vapeur, le sillage s'est plusieurs fois élevé à 14' nœuds, quoique la surface de voilure soit très-peu étendue et que la nature du service du Pas de Calais permette rarement de l'employer. La machine est de M. Penn, de Greenwich, et présente un des meilleurs types d'appareil à engrenage (voy. pl. V). M. Bourne s'occupe beaucoup, pages 133 et suivantes, des résultats du *Faon*, mais il en est un qu'il omet et que je crois cependant utile de mentionner: c'est l'économie remarquable de sa marche: il ne brûle que 799 kilogrammes par heure, ou 64^k,40 par mille parcouru. Or, en admettant que le navire de 160 file 8', celui de 220, 10, et celui de 450, 11, il résulte que les quantités consommées par mille sont 89^k,36, 95^k,83 et 189^k,32 pour chacun de ces navires, et qu'en prenant *le Faon* pour unité, on trouve que la consommation par mille est de 2,98 pour le 450, 1,48 pour le 220 et 1,37 pour le 160; tandis que le premier met 5',45" à parcourir un mille, le deuxième 6', le troisième 7',56 et *le Faon* seulement 4',57. Les résultats réels offrent encore plus de différence en faveur du *Faon*, en ce que la vitesse moyenne actuelle des vapeurs de 450 chevaux n'est que 8',0 et leur dépense par mille parcouru est d'environ 270 kilogrammes; pour les 220, c'est 6',6 et 170 kilogrammes brûlés par mille, et enfin les 160 n'ont que 6',2; tandis qu'ils brûlent environ 160 kilogrammes par mille parcouru. Si on calcule l'utilisation du *Faon* relativement au charbon brûlé par heure, on obtient un résultat comparatif très-avantageux, comme on le voit, parmi les chiffres du tableau d'utilisation n° VI donné à la fin de cet ouvrage.

MACHINES DU *PASSE-PARTOUT*, DE LA *SALAMANDRE*, DU *CATON* ET DU *MARCEAU*.

L'usine d'Indret construisit en 1846 le petit navire en fer et la machine à cylindres oscillants et à engrenages du *Passe-Partout* destiné à entrer au Tréport. Cet appareil avait beaucoup d'analogie avec celui du *Faon* de M. Penn; il fonctionna fort bien et imprima une vitesse de 11',5 au navire, malgré le peu de tirant d'eau et le petit diamètre de l'hélice (1^m,86, 3^m,30 de pas, quatre branches et 0^m,50 de fraction de pas). Les chaudières de ce navire sont du petit nombre de celles dont les lames d'eau

verticales entre les foyers s'arrêtent un peu au-dessous des grilles, et n'ont par conséquent pas de communication entre elles par le bas. De la sorte, la chaudière est portée par des supports et ne se détériore point par le fond. Ce système n'est guère applicable qu'aux navires en fer.

En 1848, la marine fit les essais de *la Salamandre* et du *Caton* : la première, construite en fer, reçut un appareil à cylindre oscillant, à engrenages, de l'usine de M. Bennet et Cie de la Ciotat ; elle fila 9',6 dans les épreuves ; mais l'insuffisance de ses chaudières diminua bientôt cette vitesse ; on chercha plus tard à corriger ce défaut par des tubes de l'invention de M. Arnier, placés sous le ciel du foyer et débouchant par chaque extrémité dans une boîte commune et en communication avec la chaudière. Il résulte de la position de ces tubes au milieu de la flamme la plus active et de leur inclinaison, qu'ils ont à leur intérieur une circulation très-rapide et qu'ils produisent beaucoup de vapeur. Aussi sont-ils peut-être propres à corriger le manque de production qu'on éprouve si fréquemment.

Le Caton, également construit en fer, mais avec des façons beaucoup plus fines que *la Salamandre*, reçut une machine à cylindres oscillants de l'usine du Creuzot ; mais les dents de la grande roue étaient en fonte, comme celles du pignon, et elles se brisèrent en blessant plusieurs personnes, lors du premier essai, en avril 1848. La chaudière a une pression effective de trois atmosphères, et le tirage de ses foyers est activé par un jet de vapeur ou sifflet dans la cheminée. Outre l'inconvénient d'un bruit continuel, ce genre de tirage présente celui d'exiger des pressions élevées encore peu usitées sur mer ; aussi, bien qu'il soit employé utilement sur le Rhône, il n'en est pas de même dans la marine, et *le Caton* seul l'a conservé. Le nouvel engrenage eut des dents de bois à sa grande roue, et, après beaucoup d'améliorations de détail, le navire obtint de 9',3 à 10' dans les expériences ; l'insuffisance de ses chaudières a ralenti ensuite sa vitesse, et pour 8',2 il a brûlé 150 kilogrammes de charbon par mille parcouru. *Le Caton* marche bien à la voile et en affolant son hélice il suit facilement les vaisseaux.

Plus tard, en 1853, on a fait les expériences de la machine du même atelier et de 120 chevaux du *Marceau* ; et on a essayé l'hélice de M. Mangin (p. 323). L'hélice est à deux branches et se démonte avec un châssis. Les efforts de traction, mesurés au point fixe, ont été en moyenne de 2842 kilogrammes pour 22,6 tours de roues, et une pression utile sur les pistons de 21 104 kilogrammes produisant une force effective de

122 chevaux. L'effort théorique calculé sans frottements était de 3149 et son rapport à l'effet réel 0,963. Dans les détails des expériences on observe un fait remarquable et qui s'est présenté quelquefois ; c'est que les efforts réels atteignent et dépassent ceux calculés théoriquement. Ce fait a été remarqué aux essais du *Rolland*, mais on ne l'a pas observé à ceux du *Duroc*, aviso semblable au *Marceau*. La vitesse à toute vapeur n'a été que de 9',5 avec une consommation considérable de charbon ; 5k,9 par cheval. Des expériences de traction ont montré que la loi de la résistance était plus grande que la puissance 2,28 de la vitesse qu'on admet généralement.

MACHINES DE *LA BICHE* ET DE *LA SENTINELLE*.

Le désir d'avoir des avisos d'une belle marche à la voile fit construire *la Biche* et *la Sentinelle* sur les plans de *la Diligente*, de M. Ozanne ; mais elles furent exécutées en fer, pour obtenir la place et le tonnage nécessaires à l'appareil ainsi qu'à l'approvisionnement. Au lieu d'avoir trois mâts, elles reçurent une mâture de brick. Leurs machines, construites par MM. Mazeline, du Havre, sont restées un bon type d'appareil à engrenage : elles ont été adoptées sur plusieurs autres navires (voy. pl. I.). Elles sont renfermées, ainsi que les chaudières, entre deux cloisons étanches éloignées de 7 mètres, et dans cet espace rétréci sont les soutes contenant 46 tonneaux de charbon. Les renvois de mouvement, ainsi que les dispositions de détail, ressemblent à ceux adoptés depuis par le même ingénieur civil, pour des appareils à mouvement direct, et il est inutile d'en donner la description. Les deux chaudières ont chacune 3 foyers, 144 tubes de 0m,07 de diamètre sur 1m,60 de long, 101 mètres de surface tubulaire, 16m,59 de surface de foyers : en tout, 126 mètres, ou 5déc,9 par cheval nominal ; le volume d'eau est 11 400 litres, on 95 litres par cheval, et la tension 1 atmosphère effective ; le volume de la vapeur est 80 litres par cheval ; le poids de l'appareil, avec l'eau des chaudières, est de 63 tonneaux, ou, avec tous ses accessoires et rechanges, 64. La vitesse de calme a été 8',5 ; celle contre une brise fraîche, 7',0, tandis que vent arrière, sans voiles, elle était de 11',0 nœuds avec 64 coups de piston. L'hélice de ces deux navires se remonte dans un puits au moyen d'un châssis ordinaire et d'une caliorne crochée à une bigne élevée au-dessus : le puits se ferme par des portes en tôle, ce qui est nécessaire sur des navires aussi petits. *La Biche* et *la Sentinelle* marchent

bien à la voile, mais il ne leur reste que très-peu de place ponr placer des approvisionnements, et elles n'ont pas d'artillerie.

Ces constructions n'ont pas été imitées, et en effet elles ne remplissaient pas leur but : car ce n'est pas lorsqu'il existe des navires filant 12 nœuds qu'un aviso peut se borner à 8',5. Les avisos ne sauraient plus avoir les anciennes proportions de la longueur à la largeur, puisque pour un même tonnage il en résulte une plus grande maîtresse section, et par conséquent plus d'obstacle au sillage, sans pour cela favoriser la marche à la voile : car une grande longueur est aussi favorable à cette dernière qu'à la vapeur, et un petit navire destiné à porter des dépêches n'a pas à évoluer à la voile, ni à éviter l'allongement, puisqu'il ne sera pas chargé d'artillerie. Les proportions du navire à vapeur et une grande finesse de formes lui conviennent donc mieux que celles des meilleurs navires à voile d'ancienne construction.

MACHINES DE *L'ARIEL.*

En 1850, on fit les expériences de l'aviso *l'Ariel*, dont la machine, à cylindres oscillants, de M. Barns, ingénieur de l'usine de MM. Bennet et Cie, à la Ciotat, avait une puissance nominale de 120 chevaux, mais qui, dans les essais, en a développé près de 360. Le poids total de cet appareil était de 75 tonneaux, eau comprise, ce qui ne porte celui du cheval nominal qu'à 625 kilogrammes, et celui du cheval effectif à 208 kilogrammes. Il se compose de deux cylindres oscillants agissant sur une grande roue d'engrenage, comme à bord du *Corse*, et il rappelle toutes les dispositions adoptées par M. Penn dans ses machines à engrenages (voy. pl. V). On obtint une vitesse de 12 nœuds, mesurée entre des points très-distants l'un de l'autre. La mâture et la voilure ont été réduites à de très-petites dimensions, ce qui convient à un navire de cette sorte. *L'Ariel* a 40 mètres de long, $6^m,60$ de bau, $9^{mq},53$ de surface de maître-couple, et 225 tonneaux de déplacement; il a été construit par M Dupuy de Lôme. Le diamètre des cylindres est $1^m,11$, la course $1^m,02$, le rapport des engrenages 4,18 à 1, le nombre de tours de l'hélice 150, le diamètre $2^m,30$, et le pas $2^m,80$. Pour son utilisation, voy. les tableaux VI et VII.

MACHINES DE *L'ISLY*.

La frégate *l'Isly* avait reçu un appareil de M. Cavé ; il se composait de quatre cylindres oscillants à guides, disposés deux à deux en travers du navire, et placés obliquement l'un devant l'autre, de manière qu'une paire agît sur la manivelle de l'avant et l'autre sur celle de l'arrière de la grande roue : celle-ci était placée au-dessus du pignon, et, afin de ne pas l'élever plus baut que la flottaison, elle n'eut qu'un petit diamètre. Les pompes à air placées aux deux extrémités de l'appareil reçurent le mouvement d'nn petit arbre dont la manivelle suivait la grande. Le désir d'économiser les poids engagea à faire les bâtis en fer forgé; mais s'ils offrirent une solidité suffisante, ils n'eurent pas la rigidité nécessaire pour maintenir l'arbre dans sa direction, et il en résulta des écbauffements et l'usure prompte des dents. Cet appareil a reçu une autre destination, et M. Cavé s'occupe de le remplacer par un autre, dont la puissance nominale est de 650 cbevaux, et sera portée à 900 pour une seconde macbine destinée à un vaisseau. Ce nouvel appareil est remarquable par l'adoption des manivelles équilibrées, déjà employées par M. Carlsund, Suédois, et disposées de manière à compenser les efforts obliques sur les paliers et à faire qu'à peu de chose près l'arbre tourne naturellement autour de son axe. Pour cela on découpe, dans une masse de fer forgé, quatre manivelles disposées comme le représentent les fig. 1, 3, 10 et 11, pl. XII; de manière que la soye de la paire centrale *m* reçoive le mouvement par la grande bielle B dont une des fourches embrasse la tête du piston d'un côté, et la bielle de pompe à air a' de l'autre et que les soyes latérales $m'm'$ aient celui imprimé par le piston opposé, au moyen de deux bielles B'B'. Il résulte de cette disposition, dont la fig. 3 donne clairement l'idée, que lorsqu'une bielle pousse vers tribord l'autre le fait vers bâbord, de sorte que les efforts étant égaux aussi bien que les bras du levier des manivelles M et M' relativement à l'axe de rotation, cet axe n'éprouve aucun effort de translation et cet équilibre a lieu sur tous les points du cercle de rotation, puisque les angles des bielles et des manivelles sont toujours à peu près égaux de même que ceux des premières avec l'horizontale passant par l'axe de rotation, qui est la ligne moyenne de l'action. Dès lors, les paliers n'exigent plus la solidité habituelle et la même étendue des surfaces de frottement, puisqu'ils ne portent que

le poids de l'arbre, et les pistons, au lieu de se mouvoir dans le même sens, comme dans l'appareil de l'*Austerlitz* (page 422), se rapprochent l'un de l'autre pour s'éloigner ensuite et réciproquement sans produire des efforts de torsion sur les pièces de liaison. Au lieu d'avoir quatre manivelles dans le même plan comme sur la fig. 10, on peut se borner à trois, fig. 11, et on obtient le même équilibre, avec deux bielles opposées B' et B : mais alors les cylindres ne sont plus en regard et il faut les éloigner de la ligne de leurs axes, de la quantité nécessaire à l'épaisseur des manivelles, ce qui gêne la disposition des bâtis et des glissières. En outre, si la pièce composant toutes ces manivelles se trouve simplifiée, elle n'éprouve plus un équilibre d'effort aussi parfait qu'avec quatre manivelles et trois bielles. Les tiges de piston sont maintenues en ligne droite par des traverses *bb* et *b'b'* dans lesquelles elles sont emmanchées et clavetées. L'une *bb* a des deux côtés de sa tige des parties tournées pour servir de tourillon aux branches de la grande bielle B, l'antre *b'b'* a ces parties vers les extrémités pour les deux bielles latérales B'B' qui oscillent en debors des guides *b''b''* fixées aux bâtis et aux cylindres par des boulons. Les traverses *bb* et *b'b'* passent dans un bloc garni de bronze, qui frotte entre les guides. De la sorte, chaque piston n'a qu'une tige dn côté des manivelles et pour soutenir son poids il en porte une seconde à l'opposé de la première, comme on le voit sur les différentes figures.

Les tiroirs sont divisés en deux portions : l'une T au-dessus du cylindre, reçoit la vapeur et la distribue : l'autre T', au contraire, est placé en dessous, pour la laisser s'échapper vers le condenseur CC, et comme le mouvement des pistons opposés est simultané, une même tige *t't* fait marcher les deux tiroirs et ceux du baut ont leur action liée à ceux du bas, par le bras ou balancier *tt*. Les barrettes sont de simples plaques glissant sur des orifices : celles du bas ont en dessous une sorte de douille saillante, traversée par la tige en cuivre *t't'*, qui mène les deux côtés à la fois. Cette disposition évacue directement vers le condenseur l'eau que contiendrait accidentellement le cylindre. Les barrettes ne sont pas disposées de la manière habituelle sur les orifices à cause du mouvement des pistons.

Un seul excentrique E pour chaque paire de machines, sert à régler l'introduction et à la renverser au moyen d'une disposition particulière, dont voici les détails : la tige d'excentrique *t''* est articulée sur le côté du bout d'un arc fendu *dd*, dont le milieu renflé sur la partie convexe, est

percé par un tourillon d', attenant à un bloc de fonte, qui glisse dans une rainure d'une arcade en fonte creuse ff, de manière à transporter à volonté le tourillon d' et l'arc fendu entier de toute la longueur de la fente. La tige d'excentrique t'' suit naturellement ce mouvement, qui est produit par un arc de cercle denté à l'intérieur $f'f'$ qui glisse dans l'arcade et entraîne l'arc fendu. Cette translation est obtenue au moyen du pignon g engrené dans l'arc denté $f'f'$ et entraîné lui-même par la roue dentée g', tournée par un autre pignon g'', au moyen de la roue à manettes g'''. Voyons comment cette translation est utilisée pour le tiroir : pour cela, un bras double h, a son tourillon pris dans l'arc fendu dd et se trouve claveté sur un petit arbre h' sur lequel est également fixé le bras tt des glissières : de sorte que les oscillations de h sont communiquées à tt et aux tiroirs. Dans la position représentée fig. 2 et 3 pour marcher en avant, l'arc fendu est tiré et poussé par la tige d'excentrique t''; elle entraîne directement h et t' ainsi que les tiroirs. Mais si on fait tourner le pignon g par le mécanisme dont nous avons parlé, l'arc fendu est entraîné et avec lui la tige d'excentrique t'' : le plan incliné de la fente agit sur les bras h et t', et met le tiroir à mi-course. Si l'arc continue à être entraîné, le tourillon du bout du bras h arrive à l'autre extrémité de la fente et l'arc de celle-ci se trouve changé en un levier du premier ordre ; de sorte que lorsque l'excentrique pousse à l'autre extrémité celle-ci tire, et réciproquement. Le bras h, par suite le tiroir, éprouve donc des mouvements contraires de ceux imprimés par l'excentrique : il distribue la vapeur à l'inverse de ce qu'il faisait et entraîne la machine en arrière, si antérieurement elle marchait en avant, et les quatre machines se trouvent manœuvrées simultanément par l'arbre $h'h'$.

La détente est opérée par des papillons pp placés dans le tuyau de vapeur au-dessus des tiroirs ; ces papillons sont ouverts et fermés simultanément pour les cylindres opposés au moyen de petits bras et d'une longue tige commune, terminée aux extrémités par une fourche embrassant le tuyau et agissant sur les deux bouts de l'axe du papillon. Le milieu de la tige $p'p'$ forme un anneau o, dans lequel tourne un arbre qq entraîné par des excentriques $q''q''$ placés aux deux bouts de la machine pour agir par leurs tiges sur de petites manivelles placées à angle droit l'une de l'autre aux extrémités de l'arbre qq. Sur la partie en regard des cylindres, l'arbre qq porte un massif en fonte rr dans lequel sont découpées plusieurs cames sur lesquelles appuie un galet r',

lequel est porté par une pièce saillante r'' qui est percée par une vis v et v'' de manière qu'en tournant cette dernière au moyen de la roue v'', le galet soit transporté d'une came à l'autre. Un ressort à boudin p'' contenu dans une boîte portée par des traverses, sert à ramener la tige $p'p'$ et à maintenir le galet en contact des cames. Quand on ne veut plus faire usage de la détente on empêche le galet r' d'être touché par les cames en poussant la tige $p'p'$ avec le levier p''', et fixant ce dernier.

L'injection des condenseurs arrive par le tuyau u' dans une boîte u où elle est réglée par une plaque glissante, sorte de vanne dirigée par une tige commune à deux boîtes uu et par un levier u''. Les injections des cylindres de l'avant sont liées à celles de l'arrière par un arbre horizontal $u'''u'''$ de manière à les régler toutes à la fois par la poignée u''.

Il n'y a qu'une seule pompe à air x pour deux cylindres en regard; elle est verticale à fourreau x et à simple effet. Ses clapets sont métalliques et placés sur les côtés du fourreau, et son mouvement est obtenu au moyen d'une bielle x' articulée par son pied avec le piston de pompe à air, et par sa tête elle embrasse entre ses fourches le tourillon intermédiaire m de la manivelle, de manière à être prise entre les deux branches de la grande bielle BB. Les clapets de pied et ceux de tête x''' sont également métalliques et semblables à ceux des appareils à basse pression. Enfin l'eau de condensation est déversée au-dessus de la flottaison par les bâches et les gros tuyaux représentés fig. 2; les orifices dans la muraille du navire sont des manchons en fonte, et on les ferme à volonté au moyen d'une soupape à charnière x'' disposée pour ouvrir de dedans en dehors.

Les pompes alimentaires y sont groupées à l'avant de la machine ainsi que celles de la cale zz, elles sont toutes menées par deux balanciers à flasques en tôle zz' et par deux bielles articulées à un bouton z'', placé excentriquement au bout de l'arbre.

Les dimensions principales de l'appareil de *l'Isly* sont : diamètre des cylindres, 1^{m},65, course, 0^{m},80, nombre de coups de piston pour faire 650 chevaux, 55. Distance entre les parties voisines des paliers des arbres, 1^{m},80, diamètre des soyes des manivelles, 0^{m},35; celles de l'arrière ont 0^{m},38, celui de l'arbre de l'hélice est 0^{m},36. L'appareil entier occupe 7^{m},60 dans le sens de la largeur du navire, et 5^{m},10 dans celui de la quille; son poids total est d'environ 400 tonneaux, tout compris. Les plaques de fondation sont très-solides et fortifiées en dessus par les entretoises qui réunissent les cylindres et les paliers.

MACHINES DU *CHARLEMAGNE*.

Le rôle de l'hélice n'était pas borné à de petits bâtiments ou à des marches peu rapides, et on songea bientôt à l'étendre aux plus grands navires et à obtenir, par son moyen, des vitesses regardées comme impossibles sur des vaisseaux chargés d'artillerie.

En 1849 on acheva de modifier l'arrière du vaisseau *le Charlemagne* pour lui donner les formes nécessaires au fonctionnement de l'hélice et l'espace pour la placer. La facilité de la manœuvre dans les puits, prouvée par *le Chaptal* et par *la Pomone*, fit ajouter cette ressource au *Charlemagne*. D'un autre côté, cependant, les inconvénients du puits, sous le rapport militaire (pages 315 et suiv.), ainsi que pour la solidité de l'arrière et les conséquences tirées des expériences de *la Pomone* (page 393), engagèrent à s'exempter de cette percée dans la constrnction d'un vaisseau à grande vitesse proposé par M. Dupuy de Lôme. Cette fois il ne s'agit plus d'égaler le sillage des anciens vapeurs, mais de surpasser celui des avisos tout en portant une artillerie redoutable. Cette construction est la plus remarquable et la plus hardie de notre époque, et si quelques détails en ont retardé la réussite, elle n'en a pas moins résolu un problème longtemps regardé comme impossible, celui d'être à la fois très-rapide et très-fort. Elle a ouvert aux navires mixtes une carrière à laquelle ils ne semblaient pas d'abord destinés, et elle a de beaucoup précédé la réussite des vaisseaux à vapeur des autres nations, puisqu'elle était conçue et mise en voie d'exécution dès l'année 1849, peu de temps après *le Charlemagne*.

Pour suivre l'ordre des dates, nous nous occuperons d'abord de la machine de ce dernier vaisseau. Les mauvais résultats des premiers guards ships anglais, et les expériences de l'hélice, engagèrent à modifier l'arrière du *Charlemagne*, pour lui donner plus de finesse, et porter l'hélice au delà de l'ancien étambot. Il eut ainsi 60^m,10 de longueur de râblure en râblure, à la ligne du pont, et 59^m,80 à la flottaison, sur 16^m,24 de maître-bau. Il reçut la même artillerie que les autres vaisseaux de son rang, et ses approvisionnements seuls furent réduits à 60 jours de vivres et à 30 jours d'eau. La modification du vaisseau fut confiée à M. Dorian, ingénieur, et l'appareil moteur à M. Barns, ingénieur de l'usine de M. Bennet, à la Ciotat, auquel on devait déjà les machines du *Napoléon* de la poste et de *l'Ariel*, dont il a été question.

La machine fut placée sur l'arrière du grand mât, tandis que les chaudières étaient sur l'avant avec une chambre de chauffe au milieu; cette disposition a beaucoup de ressemblance avec celle de *l'Ajax*, dessinée planche V. Les machines sont à monvement direct et composées de quatre cylindres de $1^m,30$ de diamètre et 1 mètre de course : les hielles des cylindres en regard sont articulées sur la même manivelle. Entre chaque paire de machines se trouvent les pompes à air, mues par le vilebrequin de l'arbre intermédiaire. Les hielles font suite à la tige de piston, ce qui donne heancoup de largeur à l'appareil; il a ainsi 8 mètres de portant sur carlingue, et $4^m,50$ dans le sens de la quille. L'appareil entier occupe une longueur de 19 mètres, en y comprenant un intervalle libre de près de 2 mètres entre les chaudières et la machine, ainsi que les coursives conservées entre les corps de chaudière pour faire arriver le charhon des soutes latérales; sa force nominale est de 400 chevaux. L'un des deux cylindres en regard a nne hielle à fourche, tandis que l'autre en porte une droite. Chaque piston a deux tiges situées au même niveau, vissées dans le piston et tenues par des écrous à une traverse qui les dépasse de chaque côté pour s'engager dans les guides, et qui a son milieu tourné pour servir de tonrillon à la grande bielle; celle-ci n'a que $1^m,70$ tandis que la manivelle a $0^m,50$ de rayon. Le poids du piston est soutenu par nne troisième tige partant de son centre à l'opposé des antres, pour sortir du fond dn cylindre à travers un presse-étoupe. Les cylindres sont liés entre enx par des bâtis fortifiés de croix de Saint-André, qui portent un même temps les paliers de l'arbre et les glissières. Les tiroirs, placés en dessns des cylindres, reçoivent la vapeur d'nn tuyau qui s'étend d'une machine à l'autre, et qui est pourvu d'une soupape d'arrêt an-dessus de chaque cylindre, pour intercepter la vapenr quand on ne fonctionne qu'avec nne partie de l'appareil. Il y a de chaque bord un condenseur pour les deux cylindres voisins, et chacun oontient une pompe à air horizontale ayant la moitié de la oourse dn grand piston, et seulement $0^m,76$ de diamètre. Toutes ces pompes reçoivent le mouvement du vilebrequin de l'arhre intermédiaire, dont le tourillon est entouré d'nn hloc carré, qui glisse dans un cadre auqnel sont attachées les tiges de piston des pompes renforcées par des tirants, qui joignent leur tête anx angles du cadre, lequel est maintenu par des guides. Ce mouvement ressemble à celui employé souvent ponr celui du petit cheval, et il est disposé pour que la même manivelle entraîne en même temps les pompes à droite et à gauche. Celles-ci se tronvent

ainsi au niveau de l'axe des cylindres, leurs pistons sont pleins et sont soutenus, par le prolongement de leur tige, à travers le fond du corps de pompe. Ils oscillent entre les boîtes à soupapes placées aux extrémités de leur corps de pompe, qui renferment chacune dix petits clapets en caoutchouc de 0^m,12 de diamètre établis sur des grillages et semblables à ceux dessinés pages 193 et 194. Ils sont semblables pour l'aspiration et pour le refoulement; ces derniers déversent directement l'eau dans le tuyau de décharge, qui perce le navire au-dessus de la flottaison. L'injection est sur le côté du condenseur et réglée par un rubinet. Les pompes de cale sont horizontales et ont eurs tiges unies aux angles inférieurs du cadre dont il a été question pour le mouvement des pompes à air. Les pompes alimentaires sont conduites par un petit arbre spécial faisant suite, vers l'avant, à celui des machines, et dont la manivelle est unie à la tige de la grande par un petit tourillon vissé dans le bout de cette dernière.

Fig. 38.

Fig. 39. Section suivant *ab*

Fig. 40. Section suivant *cd*

L'arbre de l'hélice est en trois pièces : les deux premières, à partir de la machine, sont réunies par des plateaux ronds, clavetés et boulonnés entre eux; la seconde et la troisième portent un embrayage à plateaux dentés, dont l'un glisse sur l'arbre pour engager ses saillies dans les creux de l'autre; la longueur totale de ces arbres est de 20^m,50, et le

diamètre de $0^m,32$. En sortant du navire, le dernier arbre prend dans sa coulisse la traverse de celui de l'hélice, comme on l'a expliqué en rendant compte de la manière dont est opéré le démontage (page 311).

Les tiroirs sont en coquille et compensés par derrière comme ceux de M. Rennie, fig. 38, 39 et 40 (voir le *Catéchisme du mécanicien à vapeur*, pages 204 et 205); ils ne reçoivent la vapeur qu'après son passage dans une boîte cylindrique adjacente, destinée à la détente, la soupape de cette dernière est formée d'un cylindre ayant dans l'intérieur une cavité ovale traversée par deux cloisons en croix, suivant l'axe, pour maintenir entre elles les trois parties du cylindre entre lesquelles sont les deux orifices. Ce tiroir à détente glisse dans un cylindre ayant des orifices pour recevoir la vapeur d'un côté et la transmettre de l'autre au tiroir, et, par son mouvement, communiqué par un excentrique à cannes monté sur l'arbre du tiroir, il ouvre et ferme les orifices aux points voulus de la course.

Le renvoi de mouvement du tiroir du *Charlemagne* renverse les positions pour marcher en avant ou en arrière, en changeant le centre de l'excentrique relativement à celui de l'arbre, au lieu de glisser autour de ce dernier pendant qu'on manœuvre le tiroir à bras, ou de changer entièrement d'excentrique, comme avec le système des locomotives. Il est formé d'un arbre spécial placé en dessus des cylindres, parallèlement à celui de l'hélice, et recevant un mouvement semblable par un engrenage à roues égales; cet arbre porte un excentrique qui, par deux tiges ordinaires et opposées, conduit en même temps les tiroirs des deux cylindres en regard. Cet excentrique est creux et contient une crémaillère au dos de laquelle est une coulisse, dans laquelle est une glissière attenant à l'arbre, de sorte que, par la crémaillère, l'excentrique se transporte suivant un diamètre de l'arbre, déterminé relativement aux manivelles et aux tiroirs, de manière à donner l'avance voulue dans les deux sens. Un pignon est engrené dans cette crémaillère et sert à la faire glisser, de manière à caler l'excentrique, pour la marche en avant comme pour celle en arrière; et, par le fait, ce pignon joue le rôle du toc, bien qu'en marche la crémaillère tourne autour de lui. Il s'agit maintenant de savoir comment ce pignon est conduit : c'est au moyen d'une sorte d'arbre cannelé de dents qui glissent dans celles en creux découpées au milieu du pignon, et qui passe dans une spirale creuse de manière à être entraînée par son mouvement. Celui-ci est obtenu au moyen de deux anneaux, qui embrassent l'arbre creux et qui ont vers

l'intérieur des saillies qui entrent dans la rainnre de la spirale. Ces sortes de guides sont tenues à nne crémaillère parallèle à l'arbre creux, et qui, par des fourches prises dans les rainures des manchons à saillie, les laisse tourner, mais les tire ou les pousse suivant l'axe de l'arbre creux. Or, les saillies étant prises dans la spirale, il est clair que ce mouvement de translation fait tourner l'arbre creux, qu'il entraîne le pignon de la crémaillère de l'excentrique et fait varier le centre de ce dernier. Pour stopper, il suffit de mettre le pignon au milieu de la crémaillère d'excentrique, et les tiroirs se trouvent à mi-course, de manière à fermer les deux orifices. Cette disposition ingénieuse est un peu délicate, et si les tiroirs étaient durs, le plan incliné de la spirale, qui par le fait transmet la force de la roue à manette, aurait un frottement trop fort ponr son peu de surface.

Les expériences du *Charlemagne* ont été très-intéressantes : elles ont donné des résultats remarquables, consignés dans un rapport, dont la publication anglaise de *l'Artisan* renferme la traduction ainsi que les plans détaillés de la machine; et ces premiers essais d'un vaisseau mixte méritent qu'on présente un résumé du rapport qui les a fait connaître. Le diamètre de l'hélice à deux ailes est de 5 mètres, son pas de 7 mètres, et la fraction de pas de chaque aile de $\frac{1}{7}$. Le poids total de l'appareil avec les outils, et non compris l'eau, est de 217 tonneaux, et celui de l'eau des chaudières de 48; ce qni donne en tout 265 : le maximum fixé par la marche était de 330 tonneaux. Au moment des expériences le tirant d'eau à l'étambot de l'avant était de $7^m,75$, et à l'étrave de $7^m,14$: la surface immergée du maître couple 92 mètres carrés, avec 60 jours de vivres, 30 jours d'eau, et 260 tonneaux de charbon; tout se trouvait à bord, et les mâts étaient guindés. A toute vitesse, avec 0,6 d'introduction, la machine faisait jusqu'à 58 tours, et en moyenne 52,65, et le navire filait 9,54 nœuds. D'après les courbes d'indicateur la force de la machine, avec 56 tours, s'est élevée jusqu'à 632 chevaux; à 50 tours, elle était de 506 chevaux; à 49 tours, de 455; et à 39 tours, de 257. Les résultats des expériences faites à la mer sont consignés dans le tableau suivant :

TABLEAU I.

RÉSULTATS DES ESSAIS DE LA MACHINE DU VAISSEAU MIXTE *LE CHARLEMAGNE*.

POINTS DE DÉPART ET D'ARRIVÉE.	De la Grosse Tour N. et S. au phare de Titan N. et S.	Du phare de Titan N. et S. au cap Corse N. et S. Ligne directe.	Du cap Corse au golfe de la Specia. Routes brisées.	Du golfe de la Specia à 60′ milles en mer vers Toulon.	Du point décrit précédemment au phare de Titan N. et S.	Du phare de Titan N. et S. à la Grosse Tour N. et S.
Distances parcourues....	27′ milles mar. ou 49993ᵐ	126′ mil. mar. ou 233304ᵐ	66′ milles mar. ou 122206ᵐ	60′ 7 milles marins ou 112392ᵐ	100′ 3 m. m. ou 168673ᵐ	27′ milles mar. ou 49993ᵐ
Durée totale des traversées	3^{h} 4′ 30″	14^{h} 30′	8^{h} 20′	8^{h} 41	12^{h} 9′	3^{h} 4′
Temps d'arrêt..........	0^{h} 26′	»	0^{h} 20′	»	1^{h} 38′	»
Temps de marche........	3^{h} 4′	14^{h} 30′	6^{h} 00′	6^{h} 40	10^{h} 31′	3^{h} 4′
Vitesses moyennes calculées par les distances...	8′ 200	6′ 669	6′ 250	7′ 00	9′ 54	8′ 200
Vitesses moyennes d'après les lochs..............	8′ 36	8′ 50	8′ 26	6′ 98	9′ 48	6′ 20
Moyenne du nombre de tours par traversée. ...	9186	42524	22608	20490	32920	9330
Id. par minute..........	49,77	48,88	47,10	39,43	62,26	607
Produits du pas de l'hélice par le nombre de tours..	64302ᵐ	297668ᵐ	152256ᵐ	143430ᵐ	230260ᵐ	65310ᵐ
Rapports des chemins parcourus aux produits précédents..............	0,776	0,783	0,773	0,783	0,804	0,766
Pressions moyennes à l'indicateur des tuyaux de vapeur...............	atm. 0,48	0,217	0,200	0,25	0,38	0,38
Ouvertures moyennes des valves................	0,6	en grand	en grand pendant 7^{h} 29 presque fermées pendant 40′	0,5	en grand	en grand
Durées moyennes de l'introduction dans les quatre cylindres.........	0,7	0,7	0,7	0,8 pendant 1^{h} 30′ 0,7 pendant 7^{h} 10′	0,7	0,7
Efforts moyens sur les pistons donnés par les indicateurs............	0,670	0,650	0,590	0,470	0,720	0,720
Nombre de chevaux de Watt developpés en moyenne...............	478	455	366,69	257,22	522,26	506,67
Nombre de chaudières allumées..............	4	4	4	4 / 4	4	4
Consommations moyennes par heure de marche...	2360ᵏ		2360ᵏ	1390ᵏ / 1260ᵏ	2600ᵏ	
Consommations correspondantes à 24 heures..	57120ᵏ		56400ᵏ	33600ᵏ / 30240ᵏ	62400ᵏ	
Observations sur l'état de la mer, du vent et de la voilure..............	Mer très-unie, très-faible brise d'O. Route à l'E. sans voiles.	Mer très-unie, faible brise d'O Route à l'E. $\frac{1}{4}$ N.E sans voile.	Mer très-unie, petites brises diverses.	Mer unie, calme plat.	Mer unie calme jusqu'au jour ensuite très-petite brise de N. E. Route O. $\frac{1}{4}$ S. O. sans voiles.	Belle mer, petite brise de N. O. Route O. sans voiles.

Le maximum du nombre de chevaux soutenu pendant assez longtemps par la machine à 56 tours, avec un diagramme, donnant une pression moyenne de $0^{at},83$, est de 632 chevaux. La formule employée pour calculer le nombre de chevaux de ce tableau est la suivante :

$$F = K\frac{D^2CN}{0,59} \times \frac{P}{0,83};$$

dans laquelle D exprime le diamètre (en mètres);
C exprime la course (en mètres);
P exprime les pressions à l'indicateur vide compris en atmosphère;
K exprime le nombre des cylindres.

L'effort de traction maximum obtenu avec un grelin agissant sur un dynamomètre a été de 12950 kilogrammes; pour la frégate à roues *l'Asmodée* on avait trouvé 8100; pour *le Labrador*, 8150, et pour *l'Orénoque*, 7800. Il y a lieu de signaler à ce sujet un fait remarquable; c'est que si on néglige tous les frottements, travail des pompes, et le choc de l'eau projetée sur l'étambot, et qu'on calcule ainsi quelle serait, suivant l'effort sur les pistons, la composante horizontale en arrière des pressions de l'hélice sur l'eau, et si on compare l'effort ainsi calculé à l'effort mesuré par le dynamomètre, on trouve que le rapport du second au premier, d'après les expériences, serait de 0,755 pour les grandes pressions, à 0,880 pour les petites.

TABLEAU II.

RÉSULTAT DES EXPÉRIENCES DYNAMOMÉTRIQUES FAITES EN RADE DE TOULON, LE 23 JANVIER 1852, SUR LA MACHINE DU *CHARLEMAGNE*

Numéros d'ordre	6.	7.	9.	5.	4.	8.	3.	2.	10.	11.	1.	12.	14.	13.	15.	16.
Pression lue au dynamomètre du tuyau de vap. en atmosphère.	0,75	0,65	0,80	0,70	0,75	0,65	0,70	1,00	0,55	0,35	0,55	0,25	0,30	0,10	0,32	»
Ouverture des valves de vapeur en dixièmes	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	3	3
Durée de l'introduction moyenne en fraction de la course	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,7	0,7	0,5	0,5	0,7	0,5
Nombre de tours par minute	44	43,6	43,5	43,2	43	42,7	42,25	42,20	39	38	37,3	35	35	31,50	31,5	24,0
Pression moyenne sur les quatre pistons (vide compris)	1,130	1,120	1,120	1,090	1,080	1,067	1,030	1,030	0,885	0,860	0,847	0,730	0,725	0,600	0,59	0,480
Traction au dynamomètre	12600	12500	12450	12250	12250	12084	12050	12000	10875	10500	10225	9125	9125	7485	7475	6060
Pression du vent sur le vaisseau de l'avant à l'arrière	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Pression effective de l'hélice sur le vaisseau	12950	12850	12800	12700	12600	12425	12400	12350	11225	10850	10575	9475	9475	7835	7825	6410
Effort en kilogr. sur les 4 pistons d'après les indicateurs	59964	59433	59433	57844	57344	46624	54657	51657	46963	45636	43365	38758	38472	34839	34308	25474
Poussée de l'hélice sur le vaisseau en négligeant le frottement	17132	16981	16981	16525	16374	16477	15628	17616	13443	12038	12387	10479	10993	8934	»	»
Rapport des poussées effectives aux pressions calculées sans frottement	0,753	0,756	0,755	0,768	0,769	0,768	0,793	0,784	0,764	0,822	0,853	0,847	0,864	0,860	0,876	0,880

La loi des efforts réels de poussée et de nombres de tours en fonction des efforts effectifs sur les pistons a été clairement indiquée par des courbes dressées d'après ces expériences. En se basant sur ces observations, M. Dupuy de Lôme énonce le principe suivant : pour une machine donnée pour laquelle on a établi au point fixe quels sont les efforts de poussée correspondants aux diverses pressions dans les cylindres ; le rapport entre la poussée et les pressions se maintient très-sensiblement le même lorsque le navire est en marche. En admettant ce principe, on peut conclure des essais, au point fixe, quelles sont les résistances des navires à différentes vitesses.

Ainsi on a reconnu, d'une part, que le 17 décembre 1851 *le Charlemagne* a obtenu avec calme plat une vitesse de 9',54, avec une pression moyenne dans les quatre cylindres de 0m,72 vide compris : de l'autre, on a trouvé par les essais dynamométriques qu'à cette pression intérieure on obtenait une traction de 9420 kilogrammes (voy. tableau II). On en déduit que la résistance du *Charlemagne*, pendant l'essai précité, était de 9420 kilogrammes. D'après ces éléments on a calculé les résistances du vaisseau à diverses vitesses, et on a formé le tableau suivant :

TABLEAU III.

VITESSES mesurées.	SURFACE plongée de maître couple.	PRESSIONS intérieures dans les cylindres.	RÉSISTANCE du vaisseau.	CIRCONSTANCES de vent et de mer.
nœuds. 8,80	m 94,50	m 0,67	kil 8734	Mer unie, faible brise de l'arr.
8,60	90,70	0,65	8190	» »
8,25	90,00	0,59	7825	Mer unie, calme.
7,00	89,50	0,47	6400	» »
9,54	89,00	0,72	9420	» »
8,80	88,70	0,72	9420	Mer unie, petite brise de l'av.

Depuis les essais, *le Charlemagne* a conservé une belle marche, surtout à la voile, et avec l'hélice démontée ; mais le travail inévitable de la charpente a forcé à relever l'arrière de ses machines pour les ramener

dans l'aligueument de l'arbre de l'hélice, et il faut s'attendre à ce qu'il faille renouveler cette opération de plus en plus, à mesure que les vaisseaux mixtes deviendront vieux.

MACHINES DU *ROLAND*.

Ces expériences furent bientôt suivies de celles de la corvette *le Roland*, dont les machines, construites par M. Mazeline, ressemblent à celles de *la Biche* et de *la Sentinelle* (pl. II), à cela près qu'elles ont quatre cylindres disposés deux à deux avec les engrenages au milieu. La force nominale est de 400 chevaux, mais les chiffres du tableau VIII montrent qu'elle s'est élevée à 620. Les roues dentées ont un moyeu excentré servant à faire sortir leurs dents engagées dans celles du pignon, quand on veut marcher à la voile, ou ne se servir que de l'une des roues. L'hélice ne se démonte pas : elle est portée à l'arrière par le coussinet représenté planche IX, et semblable à celui du *Napoléon;* il en résulte que l'arrière n'est pas percé d'un puits : elle a $3^m,70$ de diamètre et trois pas principaux, celui d'entrée est de $4^m,26$, le moyen de $5^m,40$, et celui de sortie de $5^m,76$. La longueur suivant l'axe est de $0^m,49$. Lorsque le navire file 12 nœuds, le pas d'entrée donne lieu à un recul négatif. La consommation de charbon est alors de $50,500^k$ par 24 heures, et la puissance de la machine s'élève jusqu'à 620 chevaux, qui impriment une vitesse de 13 nœuds par le loch, et 12,8 d'après des relèvements, tandis qu'en réduisant la surface des grilles à la moitié, et en marchant à 0,4 d'introduction, on filait 8,56 nœuds avec 29 tours, 204 chevaux et seulement $20,500^k$ par jour, ou $4^k,03$ par cheval et par heure. On a trouvé qu'avec deux chaudières ayant toutes leurs grilles libres, on brûlait à peu près autant de charbon qu'avec les grilles réduites à la moitié de leur longueur au moyen d'un faux autel formé de gueuses et de briques, et d'un écran placé en dessous dans le cendrier. *Le Roland* a brûlé moins de charbon que les autres corvettes de même vitesse; il le doit à la bonne disposition de ses chaudières et il a commencé à prouver ce que j'avais avancé depuis longtemps : c'est que si la grande puissance est dispendieuse d'achat, elle est économique d'emploi, *quand on en use avec prudence et discernement.*

On sépare l'hélice de la machine, non-seulement en dégageant les dents par le moyeu excentrique, mais aussi en démontant l'un des manchons de réunion des parties de l'arbre, ce qui est opéré par des clavettes

fixées à l'arbre porte-hélice et tournant avec lui, qui descendent dans des rainures du bout de l'arbre, au moyen de boulons taraudés. L'arbre de l'hélice est étamé et recouvert d'une couche de cuivre rouge soudé à l'étain. Avec le calme, et lorsque les conditions de tirant d'eau et de propreté de carène sont les mêmes, on a remarqué, sur beaucoup de navires à roues et pour plusieurs de ceux à hélice, que le carré du nombre de tours de la machine variait sensiblement comme l'effort moyen diminué d'une constante qui exprime l'effort nécessaire pour vaincre les frottements de la machine et conduire ses organes; pour *le Roland*, cette quantité constante paraît être 0^{m},06 de mercure. Des expériences dynamométriques, semblables à celles du *Charlemagne*, ont donné jusqu'à 13,150^{k} pour 33 tours des machines, et 10,740^{k} pour 29 tours; le rapport des tractions réelles à celles calculées avec le pas d'entrée, a été de 0,88 à 0,78. Ainsi, à part sa légèreté, *le Roland* serait un remorqueur plus puissant que *le Charlemagne*.

Les expériences ont montré que pour les hélices à pas variable, et moindre à l'entrée qu'à la sortie, la contre-pression des ailes sur l'eau se déplace, en se rapprochant des pas courts, à mesure que la résistance du navire augmente, et qu'elle s'éloigne lorsque cette résistance diminue : de sorte que pour une même pression dans les cylindres, selon que le navire marche de calme ou contre un vent debout, ou qu'il est amarré au point fixe, l'effet de traction n'est pas le même comme on est fondé à le croire pour les pas réguliers. C'est un avantage des pas variables qui présentent, pour ainsi dire, diverses hélices travaillant tour à tour dans les circonstances auxquelles elles sont appropriées. Cette considération porte à moins regretter la perte de marche par calme, occasionnée par le peu de longueur du pas d'entrée, au point de donner un recul négatif. Les expériences du *Roland* ont été conduites et rédigées avec un soin et une précision remarquables, par M. Le Bouleur, ingénieur de la marine, et elles sont consignées en résumé dans le tableau VIII dont la disposition est depuis admise pour les opérations de cette nature.

MACHINES DU *NAPOLÉON*.

On n'avait pas encore construit un vaisseau à hélice à moyenne vitesse, et les essais de l'Angleterre avaient peu réussi, lorsqu'on osa entreprendre de dépasser les paquebots rapides, et qu'on parvint

à le réaliser avec un vaisseau armé d'une puissante artillerie, et capable d'étendre une vaste voilure. Cette entreprise fut conçue et exécutée à Toulon par M. Dupuy de Lôme, à bord du vaisseau de 90 canons *le Napoléon*. Ses formes gracieuses et plus fines que d'habitude lui permirent d'obéir plus facilement à l'impulsion en divisant l'eau vers le haut comme vers le bas, au lieu de la refouler comme les anciens vaisseaux. Sa mâture un peu réduite, fut portée vers l'arrière, et elle fut encore assez vaste pour imprimer une belle vitesse. A l'époque où il fut entrepris, on n'avait pas encore acquis de confiance dans les machines directement unies au propulseur, et pour imprimer une vitesse de plus de 12 nœuds, on crut que, malgré les dimensions de l'hélice, il était nécessaire d'employer un engrenage ponr obtenir une rotation assez rapide. On adopta donc une disposition semblable à celles employées en Angleterre sur *le Highflyer*, sur *le Brisk*, snr *le Dauntless*, et surtout sur *le Sharkie* (voy. les dessins à petite échelle de toutes ces machines sur la planche I). L'appareil exécuté par l'usine d'Indret, sous la direction de M. Moll, se composa de deux cylindres horizontaux, placés à tribord, et balancés à l'opposé par une énorme roue de cinq rangs de dents, venant engrener par côté avec le pignon placé au milieu du navire. Des bâtis, fortifiés par de nombreuses entretoises, joignent les paliers du grand arbre aux cylindres, ainsi qu'à l'arbre de l'hélice, et servent en même temps de gnides aux glissières d'un té uni à la tige de piston, pour la maintenir en ligne droite. La bielle fait suite à la tige, et au lieu de mener la pompe à air par un balancier, comme on le voit sur les dessins du *Dauntless*, la manivelle du *Napoléon* se recourbe sur elle-même après la soye de la grande bielle, et vient former, comme sur la figure du *Sharkie* (pl. I), un second tourillon plus rapproché du centre de rotation, de manière à ne donner que la moitié de la course du grand piston à la pompe à air. Sur le croquis indiqué, ce bouton de manivelle est libre, et soutenu seulement par le roide des parties; mais sur *le Napoléon*, il a été retourné vers l'axe pour s'unir à un petit arbre dans le prolongement du grand, afin de soutenir le bouton de la pompe à air. De la sorte il a fallu tenir en ligne droite quatre paliers; et si la perfection de l'ajustage a permis à cette disposition de bien fonctionner dans le principe, elle a beaucoup fatigué dès que l'usure en a diminué l'exactitude, Le diamètre du grand cylindre est de $2^m,49$; la conrse de son piston, $1^m,63$; le diamètre de la pompe à air est de $1^m,700$, et sa course est $0^m,610$: elle est placée du

côté opposé au cylindre à vapeur. Les tuyaux de décharge débouchent au-dessus de l'eau et du même bord par de très-grands orifices. Les tiroirs sont placés verticalement sur les côtés, en regard des cylindres; ils sont en coquille et à compensateur; ils reçoivent le mouvement par deux excentriques et un arc fendu comme sur les locomotives. Les huit chaudières sont à retour de flamme et placées par groupes de quatre corps, les unes en avant de la machine, les autres en arrière; leurs boîtes à fumée débouchent par l'angle dans une cheminée commune, de sorte que l'une de ces dernières est entre le mât d'artimon et le grand mât, et l'autre sur l'avant de celui-ci : c'est aussi la position de la machine. L'arbre passe entre les branches du pied en fer du grand mât et s'unit à celui de l'hélice par un embrayage dont on a donné le détail, page 334. Il en est de même du coussinet du bout de l'arbre et de toute la disposition de l'arrière, ainsi que de l'hélice à quatre ailes, dont les détails se trouvent fig. 3, pl. IX, et la description page 303. La puissance effective de la machine a dépassé de plus de moitié celle appelée nominale, estimée à 960 chevaux. Avec ses quarante feux allumés, la machine fait 28 tours avec $0^m,8$ d'introduction et $0^m,65$ de pression : le vide est alors très-bon et s'élève, sous toutes les allures, à $0^m,70$ de mercure dans le condenseur, et $0^m,625$ dans les cylindres. Cela est dû à la grandeur des orifices, à la bonne disposition de l'injection, au système de la pompe à air et à la lenteur de son mouvement. Avec des conditions semblables de calme et de propreté de carène, on a remarqué que la constante dont il a été question à l'occasion du *Roland* s'élevait, pour *le Napoléon*, à un peu plus de 0,06, sans doute à cause de la hauteur plus considérable de la colonne d'eau refoulée par la pompe à air. Le diamètre de l'hélice est de $5^m,80$; son pas est de $7^m,30$ à l'entrée, $8^m,50$ au milieu et $9^m,30$ à la sortie : en outre, il est de 7 mètres près du moyeu et de $7^m,30$ au bout extérieur, à partir des deux tiers de l'aile. Le recul est —0,143 pour le premier, 0,017 pour le deuxième, et 0,011 pour le troisième pas.

D'après les courbes d'indicateur, la quantité d'eau vaporisée, au maximum, a été de 36300 kilog. à l'heure. Les chaudières ont $0^{m.q},07$ de surface de chauffe par cheval nominal : en admettant 30 litres par cheval, on a donc développé 1210 chevaux, et, d'après l'indicateur, la puissance a été jusqu'à 1500 chevaux de basse pression pour 26 coups de piston, et le travail effectif, exprimé en kilogrammètres, a été de 205,330 ou 2702 chevaux de 75 kilogrammètres. La surface de chauffe

est de 1377$^{m.q}$, celle des grilles, 68$^{m.q}$,08; ce qui fait une production de 26 litres pour 1$^{m.q}$ de chauffe, et 534 pour 1$^{m.q}$ de grille. A 0^{m},8 d'introduction et à 22 tours de roues, le cheval effectif a consommé 3^{k},89 de Newcastle et Cardiff. En admettant une consommation moyenne de 4^{k},00 par cheval effectif et par heure, on dépenserait, pour 24 heures et en calme, 146 tonneaux de charbon de première qualité pour filer 13,5; 97 tonneaux pour filer 12,00; 58 tonneaux pour filer 10, et 33 tonneaux pour filer 8 : c'est beaucoup moins qu'une frégate dite de 450 pour obtenir la même vitesse. On a constaté 6^{k},40 de vapeur sensible dans le cylindre pour chaque kilogramme de charbon : cela est dû à la bonne qualité du charbon employé, aux dispositions des chaudières, au faible rayonnement des cylindres à cause de leur volume, et aux robinets qui, à chaque coup de piston, font sortir l'eau contenue dans le cylindre. La plus grande vitesse obtenue a été de 13,86 nœuds, avec une surface de maître couple plongée de 98$^{m.q}$,8; ce qui, en calculant comme le fait M. Bourne, donnerait 259 pour le coefficient relatif à la puissance nominale, et 172 pour les 1500 chevaux de basse pression donnés par l'indicateur. Les essais de traction au point fixe ont donné, avec 7^{m},91 de tirant d'eau, 17,8 tours de machine et 1^{k},177 de pression effective et moyenne par centimètre carré dans les cylindres, ou 118 412^{k} sur les pistons, un effort de traction, lu sur le dynamomètre, de 15 660^{k}; avec 19 coups de piston, il s'est élevé à 19 120^{k}. Le rapport entre la pression sur les pistons et l'effort de traction est à peu près constant sous toutes les allures.

Ces résultats remarquables sont détaillés dans le tableau VIII à côté de ceux de plusieurs autres navires, et ils étonnèrent le monde marin : car on avait peine à croire qu'un vaisseau portant 90 canons et toutes leurs munitions, 20 jours d'eau en caisse, 90 jours de vivres et 730 tonneaux de charbon, pût acquérir des vitesses de 12 et 13 nœuds; lorsqu'il y a si peu de temps, des vapeurs dénués d'artillerie passaient pour donner des résultats satisfaisants en filant 9 à 10 nœuds. Ils sont entièrement dus à M. Dupuy de Lôme, qui le premier a conçu ce projet hardi, et qui a eu le talent de le bien exécuter. Si on rapportait l'utilisation du *Napoléon* à son artillerie et à sa marche, il aurait un résultat supérieur aux autres vaisseaux, et c'est la véritable utilisation d'un navire de guerre; elle devrait même être calculée au moyen du charbon brûlé, plutôt que par la puissance obtenue pendant des observations dont les éléments ne sont plus semblables dans la pratique.

MACHINES DU *MONTÉBELLO*.

Afin de donner aux anciens vaisseaux un moteur mécanique, sans rien changer à leur disposition, on plaça sur un vaisseau à trois ponts, *le Montébello*, un petit appareil à deux cylindres oscillants de 120 chevaux nominaux, qui, dans les expériences, en a développé réellement près de 220, et a fait filer de 6',5 à 7',0 au vaisseau. Bien que ce résultat ne coûtât que l'addition de la machine et ne diminuât sensiblement aucune des anciennes ressources du vaisseau, il ne satisfit point en présence des vitesses du *Charlemagne* et du *Napoléon*, et au lieu de l'imiter, on préféra depuis allonger les vaisseaux existants pour leur donner autant de vitesse qu'à ceux de nouvelle construction. Les expériences dynamométriques au point fixe faites avec 0,75 d'introduction, 36 à 38 tours par minute et un effort de 32 640^k sur les pistons, ont donné 6750^k, en déduisant 500^k dus à l'effet du vent. L'effort théorique pour le pas de 6^m eût été de 9248. Son rapport à la traction réelle est 0,72, et avec des puissances moindres ce rapport ne change pas. La surface immergée du maître couple était de 103$^{m.q}$,13, pendant que le navire faisait en moyenne 6',66, et avec une puissance de 219 chevaux; ce qui, par la méthode de Bourne, donne pour la puissance nominale 254, et pour celle mesurée par l'indicateur, 139 de coefficient d'utilisation.

MACHINES DE *L'AUSTERLITZ* ET DU *JEAN BART*.

Le succès de différentes machines directes décida l'adoption de ce système à la place des engrenages, et l'usine d'Indret a exécuté, sous la direction de M. Moll, plusieurs machines dont nous allons donner la description, d'après celle du *Jean Bart*, armé en 1853. Cet appareil moteur est formé de quatre cylindres *c c* placés en regard, en travers du navire, et agissant deux à deux sur une même paire de manivelles. Pour cela, le piston de chacun des cylindres (fig. 8 et 9, pl. XIII) a sa tige *t* engagée dans une traverse *t'* prise par ses extrémités dans des guides *g g* faisant partie du bâtis, et dont les côtés servent de tourillons aux branches de la grande bielle B. Le cylindre opposé ajoute sa force à celui dont il vient d'être question, au moyen de quatre tiges horizontales emmanchées et clavetées dans les oreilles des traverses, pour joindre celle d'un cylindre à celle de l'autre, et le tout forme un cadre de quatre branches passant deux à deux en dehors des manivelles

et au-dessus ainsi qu'au-dessous de l'arbre. De la sorte, la bielle et la manivelle portent la totalité de l'effort des deux pistons opposés, et la machine est dans les mêmes conditions de marche que si elle n'avait en tout que deux cylindres. Les deux grandes bielles sont à tribord ; elles embrassent dans une fourche la tête de la tige du piston ; leur longueur n'est que trois fois celle de la manivelle, et leurs clavettes sont serrées par des vis qui les attirent de bas en haut.

Les tiroirs T sont placés sur les côtés, en regard des cylindres et dans un plan vertical ; ils reçoivent la vapeur de la caisse T', sur laquelle est boulonné le tuyau de la chaudière : cette caisse contient le registre. Ils sont en coquille, et reçoivent le mouvement de deux tiges *a* et *a'*, embrassant deux excentriques *e* et *e'* callés sur l'arbre, l'un pour la marche en avant, l'autre pour celle en arrière. Ces deux tiges sont unies à un arc *b b*, portant dans sa fente un bloc glissant, auquel est unie la tige du tiroir maintenue en ligne droite par les guides *d d* adossés aux bâtis. Pour changer la marche, l'arc fendu est joint vers son milieu à une glissière *b'*, prise entre les montants parallèles *d d* et percée par une vis *d'*, dont elle est l'écron. Cette vis est entraînée par l'engrenage *d'''* agissant sur son pignon *d''*, au moyen de deux roues à manettes *n n*. De la sorte, l'arc fendu est élevé ou abaissé de manière à rapprocher de la tige du tiroir celle *a* ou *a'*, de l'excentrique *e* ou *e'* disposé pour marcher en avant ou en arrière. Tout ce mécanisme occupe l'espace entre les deux cylindres, dont la distance d'axe en axe est de 3^m.

Les condenseurs *C C'* servent de plaque de fondation, contiennent les pompes à air ainsi que les bâches et portent sur leurs extrémités les cylindres tout en réunissant ceux de l'avant à ceux de l'arrière et formant une grande caisse en fonte de 4^m,30 dans le sens de la quille et 7^m,20 en travers, de manière à couvrir une surface de 31 mètres carrés. Ils forment la principale liaison inférieure des différentes parties de l'appareil, et par le haut les cylindres ne sont unis avec les paliers que par les guides et quelques entretoises en fer forgé dont la fig. 8 montre la disposition. Il y a quatre pompes à air H, placées verticalement dans chaque condenseur : ces pompes, à simple effet et à clapets métalliques, sont disposées comme celles des anciens appareils à balancier. Leur tige est maintenue en ligne droite par des guides *h h* boulonnés sur le couvercle ; à sa suite sont deux bielles *h' h'* articulées à des balanciers de second ordre *i i*, portés par une petite bielle *i i'*, soutenue elle-même par une console *i''* boulonnée au couvercle du cylindre. Les deux

bras du balancier *i* sont égaux pour donner à la pompe à air la moitié de la course du grand piston. L'extrémité du balancier *i* vient s'articuler à une glissière *j* qui monte et descend entre deux guides d'une console *k* placée au-dessus des paliers de l'arbre, et le mouvement est imprimé à tout ce mécanisme par une bielle *jj'* dont le pied est à fourche et embrasse entre ses branches la tête de la grande bielle B, tandis que ses coussinets glissent sur la soye de la grande manivelle. Il en résulte que la longueur de cette soye est augmentée des épaisseurs des deux branches de la bielle de pompe à air et que les manivelles sont plus éloignées l'une de l'autre. Les pompes alimentaires P sont placées à l'extrémité de l'appareil en regard des chaudières et sont entraînées par un engrenage, de même que celles servant à l'épuisement de la cale P', situées à l'opposé. Les dimensions principales de l'appareil sont : diamètre des pistons 1^{m},30, course 0^{m},90, diamètre de pompe à air 0^{m},75, course 0^{m},50. L'introduction dure jusqu'aux 0,8 de la course et la détente variable s'étend de 0,30 à 0,8. Le poids total de l'appareil moteur est de 130 tonneaux. Les chaudières, au nombre de quatre, ont seize foyers; elles ont 6^{m},25 de longueur sur 3^{m} de large et 4^{m},30 de hauteur; chaque foyer a 2^{m},26 sur 0,80; les grilles ont 2^{m},10, leur surface est de 26$^{m.q}$ ou 0$^{m.q}$,060 par cheval nominal. La surface de chauffe totale, non compris les cendriers, est de 630$^{m.q}$,4 dont 482$^{m.q}$ sont pour les tubes. Le volume d'eau est 52$^{m.c}$, celui de la vapeur 54, et le poids total, avec l'eau, est de 168 tonneaux; ce qui porte celui de l'appareil entier à 298 tonneaux pour 450 chevaux nominaux, et avec le propulseur et les accessoires il s'élève à 354.

L'hélice de ce vaisseau a 5^{m} de diamètre, 6^{m} de pas à l'entrée, 7^{m},60 au milieu et 8^{m},0 à la sortie : elle ne prend que 0,20 du pas pour les deux ailes ensemble. L'arbre est en trois pièces réunies par des manchons. Pour hisser l'hélice il faut défaire un petit manchon d'assemblage et amener l'hélice à une position verticale au moyen d'une vis sans fin comme celle du *Napoléon* (page 308) et la fixer par deux boulons ou verrous qui traversent les montants verticaux du cadre. L'hélice affolée n'empêche pas le vaisseau de gouverner et de virer; elle tourne jusqu'à 3' ou 3',5 lorsqu'elle est folle. L'entrée du puits est fermée par des battants de porte, ce qui ajoute à la lenteur des démontages de l'hélice. On a paru penser que la durée de cette opération n'était limitée que par le temps nécessaire pour avoir de la pression dans les chaudières; ce ne serait vrai que si on n'avait pas de voiles (page 334). Le tableau VIII

montre que, pour la puissance de 450 chevaux nominaux de sa machine, *le Jean Bart* a obtenu de 8 à 10 nœuds de vitesse, et les détails portés sur les diverses colonnes résument les expériences.

La machine de *l'Austerlitz*, sortie également des ateliers d'Indret, ne diffère de la précédente que par quelques détails, les tiroirs sont au-dessus des cylindres et ceux placés en regard sont conduits par le même excentrique. Les détentes sont à cames placées sur le grand arbre en dehors des paliers du milieu, elles ferment l'introduction par des papillons placés dans le tuyau de vapeur. La bielle qui fait monter et descendre les balanciers des pompes à air est articulée au milieu de la soye des grandes manivelles, de sorte que c'est la grande bielle qui est à fourche. Le renvoi du mouvement des pistons est le même qu'à bord du *Jean Bart* et les deux appareils offrent de grandes analogies.

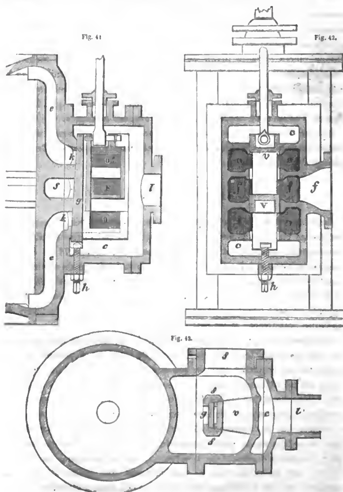
L'usine d'Indret exécute maintenant sur des plans analogues une machine encore plus puissante destinée au vaisseau à trois ponts *la Bretagne*, allongé de 20 mètres.

MACHINE DU *LA PLACE*.

Cet aviso a une machine directe à quatre cylindres placés en regard avec les bielles en prolongement des tiges, exécutée par l'usine du Creuzot; sa puissance nominale est de 400 chevaux : elle occupe $7^m,88$ dans le sens de la largeur, sur $4^m,16$ dans celui de la longueur du navire. Elle couvre une surface de 33 mètres carrés : celles des vaisseaux *le Duquesne* et *le Tourville* n'occupent que 42^{mc} pour 650 chevaux. Les cylindres opposés ne sont liés que par de longues pièces en fonte fortifiées de quelques entretoises, et les caisses des condenseurs placées en dessous ne réunissent que les cylindres du même bord; de sorte que les poids les plus considérables sont très-éloignés de la quille et portent sur les flancs du navire plutôt que sur son centre, ce qui serait un inconvénient sur un bâtiment chargé d'une lourde artillerie. Les tiges de piston sont à fourche et les bielles sont l'une à côté de l'autre sur un même tourillon. Les pompes à air sont horizontales, situées entre les cylindres et menées par le vilebrequin de l'arbre intermédiaire au moyen de balanciers à bras égaux placés verticalement et menés chacun par une bielle horizontale partant du vilebrequin. Les chaudières, au nombre de six, ont les tubes dans le prolongement des grilles et ils ne se nettoient que par l'intérieur des foyers, ce qui force à éteindre.

MACHINES DU *PRIMAUGUET*.

Les appareils de la corvette à vapeur de 400 chevaux *le Primauguet*, essayés en 1853, ont imprimé une grande vitesse à cette corvette. Ils ne



diffèrent de ceux des vaisseaux *le Duquesne* et *le Tourville*, dont il va être question, que par quelques dispositions de détail. Les tiroirs sont de l'invention de M. Mazeline et ont en section transversale la forme d'un trapèze, fig. 41, 42 et 43. Ils ont l'avantage d'éprouver beaucoup moins de frottement que ceux en coquille. (Voir leur description détaillée dans le *Catéchisme du mécanicien à vapeur.*) Les pompes à air, au lieu d'être sous les cylindres, sont à côté, à cause du manque de profondeur du navire, et leurs boîtes à clapet sont en dessus. Le condenseur est en chaudronnerie et placé au-dessus des cylindres, tandis que le renvoi de mouvement des tiroirs a été mis en dessous dans une position peu accessible, les formes aiguës des varangues et la nécessité de placer l'appareil sous la flottaison ont forcé d'adopter ces dispositions. Le mouvement du tiroir ressemble à celui détaillé plus loin, au sujet de la machine du *Tourville* : il en est de même de la disposition générale des tiges de piston et des bielles. Les différents paliers ont en longueur au moins une fois le diamètre de leur arbre et les soyes des manivelles sont au moins aussi grosses que les arbres. Les chaudières, au nombre de quatre, ont les tubes en prolongement des grilles, les boîtes à fumée sont en regard et se réunissent de chaque côté en un conduit qui, passant au-dessus de la machine, débouche dans la cheminée, qui s'élève au milieu de l'appareil, placé de la sorte entre les deux jeux de chaudières. Le pen de place et la nécessité de mettre les chaudières au-dessous de la flottaison ont forcé à cette disposition incommode.

MACHINES DU *DUQUESNE* ET DU *TOURVILLE*.

Parmi les nouveaux types de machines à vapeur que la position sous l'eau de l'hélice et son mouvement rapide ont fait adopter, il y a surtout lieu de remarquer celui de M. Mazeline, du Havre. Il est depuis plusieurs années employé sur *la Pomone*, on en trouve un aperçu parmi les figures du *Dictionnaire de marine à vapeur*, et, avec quelques différences dans la disposition de la bielle et des tiges de piston, il a été appliqué à de nouveaux appareils, pour lesquels il a donné de très-bons résultats. Depuis, il a été employé à mouvoir deux engrenages prenant dans le même pignon, et la pl. I en donne une idée générale facile à compléter par les détails qui vont suivre. Retourné, pour ainsi dire, de manière que les tiges de piston soient dirigées vers le milieu du

navire au lieu de l'être vers la muraille, comme avec les engrenages, cet appareil vient d'être exécuté sur nne plus grande échelle pour les vaisseaux *le Duquesne* et *le Tourville*. Je le crois destiné à être fréquemment employé et même à être préféré aux cylindres oscillants et aux machines à fourreau : c'est aussi l'opinion de M. Bourne (page 183). Les premiers sont peu assortis aux vitesses de rotation nécessaires avec l'hélice, leur masse considérable, rappelée en sens inverse avec violence, surtout au bas de la course, est une cause d'ébranlement et d'usure qui ne résisterait pas à un service prolongé : la machine de Blyth (pl. VI) est encore exposée à ces inconvénients, malgré sa disposition compacte. Les machines à fourreau ont le désavantage de présenter de plus grandes surfaces réfrigérantes que les autres et d'avoir nne articulation importante dont le serrage est difficile. Ces différents systèmes, et même celui du *Chaptal*, occupent au moins autant de place que celui dont il est question. En effet, dès que les cylindres sont placés en regard, il faut nécessairement laisser entre eux assez d'espace pour la rotation des manivelles, et les couvercles ont souvent leurs nervures un peu entaillées, pour obtenir plus de rapprochement et par suite une moindre longueur de portant sur carlingue. Cette dernière condition est de la plus haute importance à bord des vaisseaux, en ce que les carlingues et la membrure ont une élasticité que ne possèdent pas les bâtis, et que si ces derniers s'étendent d'un bord à l'autre, ils deviennent les grandes pièces de liaison, parfaitement rigides, d'une charpente très-élastique et sujette à se déformer : s'ils ne se brisent pas sous les efforts du travail du navire avec gros temps, ils fatiguent beaucoup leurs points de jonction. Aussi les machines qui ont 11 mètres de portant sur carlingue en travers sont beaucoup plus exposées que les autres au genre de rupture le plus à craindre sur un vaisseau chargé d'artillerie; surtout quand cette largeur force à reporter l'appareil vers le milieu du navire, où les fonds sont plats et ne présentent pas à beaucoup près autant de rigidité, que celles où la finesse des façons donne aux couples une forme plus rapprochée de celle d'un triangle.

Je crois reconnaître, dans les appareils de 650 chevaux de M. Mazeline, destinés aux vaisseaux *le Duquesne* et *le Tourville*, des dispositions si judicieuses et si appropriées aux efforts variés des machines à bord des vaisseaux, que je concentrerai sur eux tous les détails relatifs aux nouvelles machines directement unies à l'hélice. Je vais donc chercher, avec l'aide des figures dessinées sur les planches X et XI, à donner

une idée complète de ce genre d'appareil. Il est formé de quatre cylindres horizontaux *cccc* (pl. X) de 1^{m},47 de diamètre, et de 1^{m},20 de course, disposés de manière que chacun d'eux se trouve devant l'espace libre laissé entre ceux du côté opposé, pour le jeu des renvois de mouvement. Ces quatre cylindres sont posés sur une grande caisse E, en plusieurs pièces et divisée en compartiments qui servent de condenseurs à chacun des cylindres et forment, par le boulonnage des diverses parties, la plaque de fondation de tout l'appareil reposant sur les carlingues du navire. Ces dernières sont en fonte, et tout en remplaçant une partie du lest, elles serviront ainsi de pièce de liaison pour la machine et la préserveront en partie des efforts de la muraille. Il serait probablement meilleur d'établir *a priori* le poids consacré au lest, pour en répartir une portion dans le bas des pièces de liaison de la machine; ce serait plus solide que des carlingues additionnelles. Toutefois ces dernières sont une précaution qu'il est à regretter de ne pas avoir admise pour d'autres appareils, dont elles auraient garanti la durée. Ces carlingues suivent en dessous les façons du navire et ont ainsi la forme d'un triangle dont deux côtés sont courbes; au milieu du bas est un ressaut pour ne pas couper la carlingue en bois du navire. Elles sont au nombre de cinq, sont creuses à l'intérieur et leurs parties basses ont un large rebord extérieur ou collet, qui s'applique sur le navire et lui est joint par de grosses vis à bois : celles-ci, vissées d'abord dans la membrure, sont ensuite coupées à la partie qui a servi à les tourner et présentent, au-dessus des collets, une partie taraudée sur laquelle est vissé un écrou. De la sorte, les carlingues seraient démontées sans qu'il fût nécessaire de dévisser les boulons eux-mêmes. Les faces inférieures des carlingues ont une courbe plus prononcée que les parties du navire où elles reposent, afin qu'il y ait un peu de jour sur les bords, et les boulons dont nous venons de parler ne vont qu'au milieu de chaque côté, afin de ne pas donner trop d'étendue aux liaisons latérales. Ces carlingues sont unies entre elles, dans le sens de la longueur du navire, par de fortes traverses en fonte. Les plaques de fondation sont d'abord établies sur des cales en bois placées entre elles et les carlingues. Quand elles ont été parfaitement dressées, on met autour de chaque boulon une cale en fer assez large pour maintenir l'écartement déterminé, et les cales en bois deviennent inutiles.

Chaque compartiment de la fondation forme le condenseur E′ du cy-

lindre placé à côté et laisse entre lui et le suivant un intervalle où se trouve la pompe à air *a*, située en dessous du cylindre à vapeur et mue directement par le piston de ce dernier. Les caisses des condenseurs sont en outre réunies par de fortes entretoises en fonte à croix de Saint-André *b'b'*, portant sur les carlingues du navire et boulonnées solidement avec les parties voisines, de manière à former un tout rigide, dont la longueur, portant sur carlingue, est de 7^{m},25, et la largeur 5^{m},90. Les cinq boulons de fondation, placés sur chacune des cinq carlingues, sont à un mètre l'un de l'autre, de sorte que leurs points extrêmes, placés à cinq mètres, forment, à bien dire, la largeur de la machine, qui est entièrement solidaire du navire. J'insiste sur cet avantage du peu de largeur et du rapprochement des points d'attache de la machine au navire, en ce que je crois que c'est une des plus grandes garanties de solidité. Celle-ci ne couvre en totalité qu'une surface de 42 mètres carrés et demi, et en hauteur elle n'a que 2^{m},85 de la carlingue aux pièces mobiles les plus élevées; elle n'occupe donc par elle-même qu'un volume de 122 mètres cubes, et par conséquent elle pèserait autant que ce qui occupe d'habitude l'espace qui lui est destiné, s'il n'y avait pas tout celui consacré à la manœuvre et aux diverses communications.

Les pistons des quatre cylindres sont attelés à un long arbre A, placé au niveau de leur axe et formant quatre vilebrequins; il est situé au milieu de tout l'appareil, de sorte que deux cylindres agissent d'un bord et les deux autres à l'opposé. Cet arbre n'est que le prolongement de celui de l'hélice et sa force diminue à mesure qu'il s'éloigne vers l'avant et qu'il n'a plus à supporter l'effort de toutes les machines; il en est de même des manivelles et de leurs soyes, qui ont une force proportionnelle à la somme des efforts exercés suivant le nombre de cylindres. Cette précaution assure la rigidité nécessaire à l'arbre, sans lui donner des dimensions et des poids exagérés : il serait nécessaire de l'adopter toutes les fois que les efforts de plusieurs pistons se réunissent sur un même arbre. En partant de la partie la plus éloignée vers l'avant, on trouve que la première soye de manivelle S a 0^{m},26 de diamètre sur 0^{m},227 de long; la seconde S' a 0^{m},35 de diamètre sur 0^{m},20 de long; la troisième S'' a 0^{m},35 de diamètre sur 0^{m},20 de long, et la quatrième S''' a 0^{m},38 de diamètre sur 0^{m},18 de long. Les arbres des premières machines vers l'avant ont 0^{m},21 de diamètre et 0^{m},40 de longueur de portage sur leurs coussinets; celui placé entre la seconde et la troisième machine a une longueur de 0^{m},50 de portage sur ses coussinets. C'est après celui-ci, c'est-à-dire

devant la bielle de la troisième machine en M, que la suite des arbres en vilebrequin est interrompue et n'est plus d'une seule pièce de forge comme sur l'avant et sur l'arrière de la séparation. Il serait en effet difficile de fabriquer une série de sept manivelles sous différents angles et la moindre erreur dans les alignements et après l'usure dans le calage des coussinets, causeraient des efforts sur les parties faibles, c'est-à-dire sur les soyes, qui supportent le plus de force et sont exposées à des échauffements. Cette séparation des quatre manivelles de l'avant et de celles de l'arrière est opérée au moyen d'une disposition fort ingénieuse et différente de celle usitée pour les arbres intermédiaires et ceux des roues à aubes. La soye du troisième cylindre, à partir de l'avant, est de la même pièce de forge que la manivelle de l'arrière de cet appareil et que l'arbre de l'hélice. Cette soye a un très-grand diamètre, parce que son intérieur est creux et forme une douille prolongée dans l'œil de la manivelle; c'est elle qui supporte le frottement des coussinets de la bielle, et elle s'arrête à quelque distance de la tranche de la manivelle suivante, pour tourner librement quand elle est séparée. La réunion s'opère au moyen d'une soye pleine, qui s'introduit dans la première pour unir les deux mouvements, et qui est clavettée dans son œil de manière à être solidement tenue dans le trou conique qu'on y a pratiqué, comme pour les soyes de manivelles ordinaires. La soye pleine a sur les côtés des parties plates, dans le plan perpendiculaire à la manivelle, pour porter sur d'autres faces planes aussi d'une douille en bronze introduite dans la soye creuse, afin de remplacer les touches ordinaires et d'obvier ainsi au défaut d'alignement des arbres.

Pour séparer les machines de l'avant, il suffit d'enlever la clavette qui tient la soye intérieure, et, par un coup de marteau, de la faire sortir du trou cône. Dès lors les machines de l'arrière peuvent tourner indépendamment de celles de l'avant, d'autant plus que les arbres destinés aux tiroirs sont interrompus au même point, et que la bielle de la troisième machine reste articulée sur la soye creuse. En moins de dix minutes la séparation ou la réunion des machines se trouve ainsi opérée. Comme à ce point les soyes ne sont plus de la même pièce que les manivelles, et ne présentent pas autant de rigidité, on a donné une plus forte dimension à ces dernières et une plus grande longueur aux portées sur les paliers. Leurs coussinets ont plus d'une fois et demie le diamètre, afin que cette sorte de manchon, maintenu par le roide des bâtis, conserve l'arbre dans son axe de rotation et le soutienne contre les efforts opposés des ma-

nivelles. Le diamètre de l'arbre suivant, en allant vers l'arrière, est de 0m,34; la longueur de ses coussinets est de 0m,54, et enfin le dernier portage dans les coussinets a 0m,50 de long et 0m,34 de diamètre, tandis que l'arbre de l'hélice a 0m,39 de diamètre. La solidité des manivelles suit une progression semblable à mesure qu'on s'approche de l'arrière, chacune gagnant en épaisseur ce qu'on a retranché à la longueur de la soye, pour augmenter le diamètre, et par suite la roideur de ce point. Il en résulte que toutes les soyes ont des surfaces frottantes à peu près égales, mais cependant un peu plus étendues sur celles à grand diamètre, afin de compenser l'accélération de mouvement des surfaces par une pression moindre. Il en est de même des arbres à mesure que les manivelles qui les entraînent concentrent la force d'un plus grand nombre de pistons.

Les coussinets sont en fonte de fer et garnis à l'intérieur de métal antifriction; leur serrage est dans le sens horizontal, c'est-à-dire que la fente qui sépare leurs deux parties est dans un plan vertical. De la sorte ces parties sont rapprochées dans le sens où s'opère le plus grand effort, au moyen de clefs à échelons : celles-ci, au lieu de former un plan incliné continu, sont divisées en trois ou quatre parties ayant la même obliquité, pour glisser sur d'autres obliquités semblables de la contre-clavette. Comme l'inclinaison est alors plus forte que d'habitude, ces clefs ont moins de longueur de chasse, et sont tirées par un écrou vissé sur leur extrémité taraudée. Les faux coussinets en fonte de fer, destinés à remplacer ceux en bronze, ont dans leur partie concave des rainures en queue d'aronde pour retenir le métal doux, et leur extérieur forme trois faces planes prises dans le palier et son chapeau. Chaque portion de coussinet a derrière elle un bloc de fonte creuse *k* ajusté dans le bâtis, mais facile à sortir pour enlever le demi-coussinet et en changer le métal sans être forcé de démonter l'arbre. Toutes ces parties sont ajustées avec le plus grand soin, pour éviter les vibrations. Afin que le serrage des coussinets ne dérange pas l'alignement des portions d'arbre entre chaque paire de manivelles, on a tracé des repères sur les bâtis, et on a une jauge fixée à côté par des vis, pour leur comparer la position de l'arbre et savoir si c'est sur tribord ou sur bâbord qu'il faut le porter pour rentrer dans la ligne de rotation : cette précaution est très-utile, et devrait être étendue à presque toutes les pièces mobiles des appareils.

Les chapeaux des différents paliers sont tenus par quatre boulons, et les coussinets ont dans leurs parties séparées et en regard des rai-

nures obliques, pour y chasser une clef d'acier et tendre à les éloigner, tandis que le serrage des clavettes ou des boulons ordinaires les rapproche. On serre d'abord ces derniers très-fortement, de manière à rendre le chapeau immobile, et on frappe ensuite les clefs des coussinets pour soutenir les parties frottantes contre l'excès de pression, et permettre seulement l'introduction de l'huile entre les surfaces. Les tranches en regard de chaque portion de coussinet sont creusées de manière à recevoir un nombre convenable de couches de gros cuir pour frotter sur l'arbre et maintenir l'huile, en lui présentant une surface cylindrique continue, au lieu d'avoir les arêtes de la disposition habituelle qui râclent, pour ainsi dire, l'huile à son passage et la font tomber par le côté.

Comme le mouvement des manivelles conjuguées à angle droit ne saurait être uniforme, même dans le cas où on supposerait aux bielles une longueur infinie, de manière qu'elles restent toujours parallèles à elles-mêmes, il en résulte une grando irrégularité dans la rotation de l'hélice et des inégalités d'efforts sur les arbres. Il faut dès lors que ces pièces prennent des dimensions exagérées relativement à l'effort moyeu, puisqu'il leur faut résister au maximum. Afin de se rapprocher de la régularité désirable, M. Mazeline n'a pas calé ses quatre manivelles de manière à ce qu'elles fassent entre elles des angles égaux de 45°, comme on le fait d'habitude. Pour déterminer la différence d'angle, M. Cody, ingénieur civil de l'atelier, a supposé, pour plus de simplicité, que la bielle restait parallèle à elle-même, et il a observé que la courbe d'indicateur exprimant les efforts du piston à chaque point de sa course, devait être naturellement combinée avec l'effort de la bielle sur l'arbre exprimé par le sinus de son angle avec la manivelle. Si, pour montrer les efforts pendant la rotation complète d'une seule machine, on met l'une à la suite de l'autre deux courbes d'indicateur, on observe des hauts et des bas très-remarquables dans les pressions exercées. S'il y a deux machines conjuguées à angle droit, on devra par-dessus ces deux courbes en mettre deux autres adjacentes aussi, et dont les commencements seront au milieu des premières, et on aura ainsi quatre hauts et quatre bas dans la pression, au lieu de deux, comme la première fois, et ces derniers seront moins déprimés. Dans le cas de quatre machines ayant leurs manivelles à angles droits, rien ne sera changé, puisqu'on aura seulement doublé les efforts et nullement leur position sur le cerclo décrit par les manivelles. Mais si une paire de ces manivelles est transportée do 45° relativement à l'autre, comme on le voit (fig. 25, pl. IX) à

l'échelle de $\frac{1}{20}$, par l'angle BOC, il en résulte que les quatre diagrammes de la paire de manivelles A et B se trouvent couverts et partagés en deux par les quatre diagrammes des manivelles C et D : il y a donc alors huit hauts et huit bas au lieu de quatre, comme dans le cas précédent, et au lieu de présenter des saccades profondes, les cercles se confondent dans une ondulation peu prononcée. Cet effet devient encore plus marqué si les courbes superposées expriment de grandes détentes.

Afin d'exprimer les effets produits par le calage établi sur ce principe, M. Cody a exécuté les tracés de la figure 26, établis en divisant d'abord le cercle de la manivelle en 32 parties et en le développant suivant une ligne pour les ordonnées. Puis prenant sur des diagrammes théoriques (fig. 27) les efforts du piston aux différents points de sa course, et pour différentes détentes, il a calculé leur moment en les multipliant par les sinus des angles de la bielle et de la manivelle, et il a porté les résultats collectifs sur les abscisses successives de la figure 26, où le développement de la manivelle est au $\frac{1}{20}$. Les courbes relatives à deux ou à quatre cylindres conjugués à angle droit sont en ponctué, et celles à quatre cylindres calés par paires à 45° sont en lignes pleines; dans les deux cas la résistance est supposée uniforme, comme cela est réellement à la mer, de beau temps. On remarque qu'à pleine vapeur les premières offrent peu d'ondulations, et que leur effort est presque uniforme, tandis qu'avec une grande détente la pression devient par moments trois fois et demie plus forte; tandis qu'avec le calage dont il est question la force ne change pas sensiblement. L'inspection de cette figure suffit pour montrer quelle régularité de marche on obtient de la sorte, et cela sans compliquer le mécanisme, puisqu'il est facile de caler les manivelles, comme on le veut. Dans le cas qui nous occupe, les manivelles A et B appartiennent aux deux machines de l'avant, et C ainsi que D à celles de l'arrière. C'est donc entre la seconde et la troisième machine, là où a lieu l'interruption de l'arbre et le débrayage, que se trouve cette modification des angles. Pour rendre cette disposition plus parfaite, il faudrait faire entrer en ligne de compte les angles des manivelles et des bielles; car, en admettant que l'effort sur les pistons soit uniforme pendant toute la course, il y a des parties de la révolution où l'effort sur l'arbre est presque le double de ce qu'il est dans d'autres moments, et cela parce que la bielle étant courte et ayant, par exemple, trois fois et demie la manivelle, les efforts pour faire tourner ne sont pas les mêmes aux deux extrémités de la course, c'est-à-dire quand la bielle tire ou quand elle pousse; il est

donc probable qu'une légère correction à ces angles amènerait une régularité encore plus parfaite (voy. ce qui est dit à ce sujet chap. VI).

Pour diminuer les trémitations, qui ébranlent tout avec une rotation rapide, chaque manivelle porte une contre-poids M'M' tenu par des boulons de manière à équilibrer son poids et celui de sa soye : il ne reste donc plus, pour produire des chocs, que la portion du poids de la bielle portée par la manivelle et l'inertie de toutes les pièces ayant un mouvement de va et vient. Cette précaution a déjà produit de très-bons effets sur les locomotives, dont les saccades brusques ont été diminuées en déterminant avec exactitude les contre-poids, pendant que la locomotive suspendue sur des tréteaux faisait tourner en l'air ses roues motrices avec leur vitesse de régime. Quoique les machines marines soient encore loin de la célérité de mouvement des appareils des chemins de fer, elles sont arrivées à marcher assez rapidement pour prendre des précautions analogues.

Voyons maintenant les détails de chaque cylindre et par quels procédés son piston imprime le mouvement à la paire de manivelles placée en regard de son couvercle. Chacun des cylindres a, de la même coulée que lui, des saillies latérales *cc*, servant de conduit de la vapeur vers le condenseur et en même temps de supports pour l'unir aux plaques de fondation et aux entretoises, employées à relier les parties supérieures de l'appareil. Il est ouvert par la partie opposée aux manivelles : c'est donc, à bien dire, au fond que se trouve le couvercle; l'autre bout est du même jet de fonte et n'est percé que par les deux tiges de piston et par le trou qui a servi au passage de l'arbre de l'alésoir : celui-ci se trouve bouché par un couvercle pour servir à la visite et à l'entretien du piston. Chacun des bouts du cylindre a vers le bas une soupape de sûreté tenue par un ressort, pour laisser une issue à l'eau; mais comme cette précaution ne serait peut-être pas suffisante en cas de projection de la chaudière et que la présence d'un peu d'eau dans le cylindre est très-nuisible au fonctionnement, quand même elle n'occasionnerait pas de chocs, il y a en outre en dessous et à chaque bout une soupape à tiroir ou glissière *dd*, frottant sur l'orifice d'une boîte adossée au cylindre et entraînée de manière à n'ouvrir qu'au moment où le piston arrive à fin de sa course. Les deux glissières reçoivent ce mouvement de celui du tiroir lui-même, dont la tige perce la boîte à l'opposé de l'excentrique et s'articule à un levier *d'd'* qui vient prendre au bout de son bras inférieur la tige commune aux deux soupapes à glissière dont il vient d'être question. L'eau

qu'elles laissent échapper s'évacue au condenseur par un tuyau, pendant le temps que dure la sortie de la vapeur.

Les pistons sont formés d'un anneau en fonte PP, ayant à l'intérieur des saillies pour recevoir les tiges et portant sur son pourtour une garniture en fonte. Afin de leur donner la légèreté des pistons en fer forgé, le vide de leur partie centrale est bouché par deux feuilles de tôle $p'p'$ de $0^m,015$ tenues sur leur contour par des boulons et unies entre elles à leur centre par une sorte de tampon en fonte vissé dans les deux tôles. La garniture est composée de deux anneaux tournés excentriquement de manière à ce que leur épaisseur, dans la partie où est la fente, ne soit que la moitié de celle à l'opposé : la coupure de l'une se met sur le fort de l'autre. En outre, derrière les deux anneaux qui frottent sur le cylindre, il s'en trouve deux autres semblables, qui servent de ressort et dont les joints se trouvent placés devant les pleins des premiers; tous sont introduits par le fond à l'opposé des tiges et sont maintenus par une couronne plate p tenue par des boulons p', qui traversent tout le piston. Afin de soutenir le poids de celui-ci et d'empêcher son bord de frotter sur le cylindre, il existe en bas deux forts ressorts plats entre les anneaux des garnitures et le noyau, pour soutenir le piston et ne pas le laisser supporter par ses tiges ou ovaliser le cylindre.

Les points où les deux tiges sont introduites dans le piston se trouvent sur un diamètre oblique, afin qu'en se prolongeant vers le bord opposé de la machine l'une d'elles T passe au-dessus de l'arbre et à droite des manivelles, tandis que l'autre T' est au-dessous de l'arbre et à gauche de ces mêmes manivelles : leur distance se trouvant calculée de manière à laisser un espace libre au jeu de ces pièces mobiles. L'extrémité de ces tiges est en cône et tenue dans le piston par de forts écrous, qui entrent dans des cavités correspondantes du fond du cylindre. Après avoir traversé un presse-étoupe ordinaire, chaque tige s'engage et se clavette dans la douille d'une seconde tige $t\,t'$ servant à la prolonger, jusqu'à une traverse en fer forgé T″ ayant les deux extrémités courbées en sens inverse et perpendiculaires à sa longueur, comme les branches d'un z, pour se terminer par une douille qui reçoit le prolongement de la tige du piston et maintient l'écartement nécessaire de chacune des tiges. Le milieu de cette pièce est tourné, pour former le tourillon de la grande bielle et compléter ainsi le renvoi de mouvement, qui se trouve composé des tiges prolongées, pour le transporter au côté opposé, et de la bielle pour le ramener au centre sur le bouton de manivelle en oscillant dans un plan

vertical entre les deux tiges. Cette disposition, aussi simple que compacte et d'un accès facile pour le graissage et le serrage, procure une longueur de bielle suffisante et n'a besoin que d'un coup d'œil sur les figures pour être comprise.

Pour maintenir les tiges en ligne droite et les soutenir contre les efforts obliques de la bielle, la traverse T‴ a, de chaque côté, entre ses extrémités coudées et le tourillon du milieu, une partie ronde, prise entre deux blocs de fonte G'G' réunis par des boulons pour former les glissières. Les faces frottantes sont garnies de métal doux, maintenu par des rainures en queue d'aronde. Ces blocs ou glissières ont sur les côtés des nervures et glissent entre deux plans parallèles en fonte GG, qui leur servent de guide et maintiennent l'alignement des tiges de piston. Les glissières et leurs guides sont placés aussi près que possible l'un de l'autre, pour que les différences de frottement, s'il s'en présente, ne nuisent pas au parallélisme du mouvement, comme si une grande distance donnait un long bras de levier à ces efforts inégaux. En outre, cette disposition permet de concentrer davantage les diverses parties de la machine. Le chemin parallèle dans lequel courent les glissières est formé en dessous par une partie des bâtis bien planées et en dessus par une sorte de règle en fonte fortifiée par une nervure et tenue à ses extrémités par des boulons, de manière à ne laisser au chemin parallèle que l'épaisseur des glissières.

Tous les renvois de mouvement se ressemblent, et s'ils ne sont pas détaillés devant chacun de leurs cylindres, c'est qu'on a préféré profiter du nombre de ces derniers pour montrer d'autres détails. Ainsi sur la figure 1 on voit l'intérieur du piston et du cylindre de tribord; le détail de la pompe à air et des orifices du tiroir placé en avant et du même bord, qui de la sorte ne paraît pas sur la figure. En bas, c'est-à-dire à la partie de bâbord de la machine, on a détaillé à droite, autrement dit à bâbord derrière, les orifices du cylindre pour le tiroir et une partie du renvoi de mouvement de ce dernier. Pour laisser voir, à l'opposé, l'intérieur du condenseur, on a supprimé la grande bielle, la traverse et les glissières de ce dernier cylindre, et toutes ces pièces ont été détaillées sur celui de gauche, c'est-à-dire de bâbord devant. De la sorte on aperçoit beaucoup de détails qui auraient nécessité de nombreuses planches, et on n'en comprend pas moins la disposition générale de l'appareil. Toutes les manivelles ont été représentées dans le sens de leur longueur; ce qui n'est pas exact, à cause de leur position respective à

angle droit. Mais on a préféré les dessiner ainsi pour montrer leur surcroît d'épaisseur et celui de leurs soyes vers l'arbre de l'hélice et pour faire voir leurs contre-poids.

La figure 3 présente des anomalies du même genre. Le cylindre à gauche montre le fond, c'est-à-dire la partie située vers la muraille du navire, avec le levier *d'd'* de la soupape servant à purger le fond du cylindre et la soupape de sûreté *d''* : en dessous est la pompe à air. Le second cylindre, placé du côté opposé, n'est représenté qu'en partie : on n'en voit que le haut, avec le tiroir en section latérale et les glissières de la détente ; en dessous on distingue la traverse T''T'', les guides GG vus par leur extrémité, et le bout de la grande bielle F, avec les boulons de serrage de ses coussinets. Enfin, en bas est le condenseur E, avec les deux portes servant à visiter les boîtes à clapets de la pompe à air. Le troisième cylindre est entièrement supprimé, et cette partie de la figure montre l'arbre R des tiroirs, la traverse en z T'T', avec les parties rondes T'T'' et la section des glissières GG, celle de la pompe à air *a*, avec ses orifices vers les boîtes à clapet d'aspiration et de refoulement et la soupape de purge W, accompagnée de son renvoi de mouvement vers la droite de la figure. Enfin le dernier cylindre à droite, c'est-à-dire celui de tribord derrière, montre la face en regard du milieu du navire, les deux tiges du piston T et T', une partie du renvoi de mouvement des tiroirs et le coussinet de l'arbre A vers l'arrière, avec la section de la manière dont le métal antifriction est uni aux coussinets en fonte de fer. La partie supérieure de cette figure montre la disposition du tuyau de vapeur, qui, après être arrivé des chaudières, se bifurque pour amener la vapeur à chaque paire de cylindres. On y voit les boîtes en fonte V au-dessus des tiroirs et les presse-étoupes des tuyaux supérieurs. A l'aide de ces figures, il est facile de comprendre les diverses descriptions de l'appareil du vaisseau *le Tourville* et *le Duquesne*.

Les tiroirs OO sont placés à la partie supérieure de chaque cylindre ; leur boîte reçoit la vapeur au moyen d'un tuyau supérieur en fonte V, dans lequel se trouve le papillon octogonal du registre Y, qui communique avec le tuyau en cuivre qui amène la vapeur des chaudières. Le tiroir ressemble à ceux en coquille, il est divisé en deux parties distinctes contenues dans la même boîte (fig. 3) et entraînées chacune par une tige particulière. La partie inférieure forme les barrettes, qui sont en fonte de fer frottant sur le même métal des orifices des cylindres. Elles ont été dressées au marbre à une température à peu près égale à celle de régime

des machines ; afin de prévenir les gauchissures des différences de dilatation, entre un dressage à froid et la chaleur du fonctionnement habituel. Ces barrettes *n* et *n'* sont disposées comme celles des tiroirs en coquilles, c'est-à-dire que l'introduction s'opère par leurs bords éloignés et l'évacuation par ceux en regard : l'orifice du condenseur se trouve ainsi au milieu et ceux de la vapeur aux deux bouts. Il en résulte que l'intérieur est en communication avec le vide et l'extérieur avec la vapeur, ce qui, de même que dans les locomotives, applique les barrettes sur les orifices, avec toute la force due à la différence des deux pressions et à l'étendue des surfaces. Il en résulte beaucoup de frottement sur les orifices, ainsi qu'un plus grand obstacle au mouvement ; mais ces inconvénients sont moindres que les fuites et les accidents des diverses sortes de suceurs usités pour balancer cette pression sur les orifices, et on préfère employer plus de travail moteur et avoir des renvois de mouvement plus solides, pour obtenir plus de simplicité et permettre d'établir la détente sur le tiroir lui-même. On y est arrivé en planant le dos du tiroir, par lequel débouchent les orifices de l'introduction *p* et *p* et en appliquant sur ces derniers des glissières dressées *q* et *q*, pour les ouvrir et les boucher à volonté et intercepter à point nommé la vapeur. Ces plaques portent à leur dos une douille en cuivre *m* et *m*, taraudée pour prendre une vis *m'm'*, dont le filet est à droite pour l'une des plaques, à gauche pour l'autre, de manière qu'en tournant la tige commune elles s'éloignent ou se rapprochent. Cette tige est menée par un excentrique *m''* calé sur l'arbre des manivelles des tiroirs, dont nous parlerons plus tard. Elle imprime aux glissières un mouvement différent de celui des tiroirs, et de la sorte elle bouche ou ferme alternativement les orifices du dos des tiroirs à chaque révolution.

Le renvoi de mouvement des tiroirs diffère de celui en usage : il est obtenu au moyen de deux arbres particuliers R R, l'un pour la paire de machines avant, l'autre pour celles situées en arrière; chacun de ces arbres est porté par des arcades R' R' soutenues par les entretoises, et forme deux paires de manivelles en vilebrequin *r r*, qui remplacent l'excentrique et produisent le même va et vient. Son mouvement est lié à celui du reste de l'appareil par deux engrenages de diamètres égaux Q Q et Q' Q' placés, l'un à l'avant, l'autre à l'arrière de tout l'appareil : l'une des roues est en fonte de fer et calée sur le grand arbre de l'hélice ; et la seconde Q, en bronze, est sur celui des tiroirs : et c'est par le calage, ou plutôt par la manière dont ces deux roues s'engrènent, qu'est déter-

minée la relation des mouvements des pistons et des tiroirs, pour fixer les avances, comme on le fait avec l'excentrique ordinaire par le calage de ses tocs. Chacun des doux petits arbres mène de la sorte deux tiroirs, l'un à droite, l'autre à gauche, et n'a son mouvement lié à celui de l'autre que par le grand arbre de l'hélice qui porte les roues dentées motrices. Son vilebrequin porte une petite bielle ordinaire $r\,r'$, qui a son extrémité articulée avec une traverse dont les deux bouts portent les tiges $r'''\,r'''$ de chacun des tiroirs, et sont guidées dans une glissière r''.

La détente, au contraire, est conduite par un excentrique ordinaire m'' monté sur l'arbre des tiroirs R et dont la tige porte une enclanche, pour le cas où on ne veut pas l'employer. Il donne le mouvement à un bras porté sur un arbre *u* oscillant sur le coin du cylindre et transmettant par un autre bras le mouvement à la tige des deux glissières. Il y a de la sorte un de ces excentriques pour la détente de chaque cylindre, et un mécanisme particulier sert à les déclancher tous à la fois. Le plus ou le moins de durée de l'introduction est réglé par les vis qui tournent dans des écrous ou blocs en bronze *m*, dont la forme rectangulaire est prise entre deux glissières verticales qui les unissent aux plaques glissantes de la détente. Cette disposition a pour but de permettre à ces dernières d'être levées au moyen d'une sorte de petit arbre excentré passé sous une pièce en cuivre *x* (fig. 3) qui réunit les deux glissières de détente : en tournant cet arbre, sa partie excentrée les élève et leur fait ouvrir un libre passage à la vapeur, quelle que soit alors leur position par rapport aux orifices. Cette précaution est nécessaire, parce que lorsqu'on marche à une grande détente, il y a des positions du tiroir où les deux orifices seraient fermés au moment où on stoppe, et il serait impossible de repartir : on est forcé d'ouvrir de même les détentes avec les appareils à cames ordinaires.

La manière de renverser le mouvement de la machine est nouvelle et vient d'être employée à bord du *Primauguet :* elle demande quelques détails particuliers, et, afin de comprendre son jeu, il faut se référer aux figures. Il a été déjà expliqué que le petit arbre des tiroirs *r* était entraîné par une roue dentée Q Q (voir les figures de la pl. X, et surtout celle 17 de la pl. XI) engrenée avec une autre de diamètre égal Q' Q', clavetée sur le grand arbre de l'hélice A, et que c'était de la relation de ces deux arbres au moyen des engrenages, que dépendait celle des mouvements des pistons et des tiroirs : si cette relation est changée, les mouvements·

le sont donc aussi. Il s'agit donc de montrer comment s'opère ce changement.

Pour cela, l'arbre des tiroirs porte une roue à manettes UU (elle se trouve presque entièrement cachée sur la fig. 2, pl. XI), dont l'axe est une douille folle sur cet arbre R, et forme en dehors un pignon V; celui-ci engrène avec une roue dentée V′ portée au bout d'une sorte de balancier ou bras double Y, claveté sur l'arbre des tiroirs, de manière que, lorsque celui-ci tourne autour du pignon, il engrène successivement sans l'entraîner; son centre se trouvant ainsi tourner autour de celui du pignon V de l'arbre de la roue à manettes U, comme un satellite. Mais si ce dernier tourne, il entraînera par son pignon la roue dont nous venons de parler, et ce mouvement ne produirait rien sur le bras double ou balancier, s'il ne portait à son extrémité un pignon V″ (pl. XI, fig. 17, et pl. X, fig. 1, en ponctué) monté sur l'axe de la roue dentée satellite, qui engrène dans des dents intérieures ZZ pratiquées dans la grande roue dentée qui est unie à celle de l'arbre de l'hélice QQ, mais qui est folle sur celui des tiroirs R. Si donc le pignon de la roue satellite tourne dans les dents intérieures *z z* de la grande roue Q, il changera la position de celle-ci relativement au balancier ou bras double Y, qui est tenu à l'arbre du tiroir, et il modifiera son angle relativement aux grandes manivelles liées avec la roue inférieure Q′. Mais en changeant cet angle, il en fait autant pour les positions relatives des manivelles *r* des tiroirs et de celles des grands pistons; il modifie donc leurs relations, et il l'opère de telle sorte que les orifices se trouvent avoir leurs positions renversées, comme par le mouvement de l'excentrique ordinaire sur l'arbre, en tournant jusqu'à ce qu'il rencontre le toc de la marche en avant ou celui de la marche en arrière. Il y a cependant une différence notable : c'est qu'avec l'ancienne méthode, il faut stopper et séparer la machine de l'excentrique en déclanchant, pour la faire tourner en manœuvrant les tiroirs à bras et, par le mouvement de l'arbre dans l'excentrique, amener en contact les tocs de la marche voulue. Dans la disposition actuelle, c'est, au contraire, par l'action directe des hommes sur la roue U et par suite sur les pignons dont nous avons parlé, que le changement a lieu pour que les tiroirs soient entraînés et mis dans le rapport de la marche commandée par le mécanisme lui-même, et non par la rotation du grand arbre produite par la manœuvre des tiroirs faite à bras. Il y a donc autant de célérité et de simplicité de manœuvre qu'avec l'arc fendu des locomotives, et cela sans présenter la complication de deux excentriques avec leurs tiges et

l'arc fendu pour un même tiroir. Dans l'appareil de M. Mazeline, l'amplitude du changement du pignon satellite V est limitée par celle du segment denté ZZ de la grande roue supérieure Q. C'est sur l'extrémité de la fente, où il se trouve, qu'appuie le petit pignon V″ lorsqu'il a parcouru un arc assez grand pour modifier la position des tiroirs et opérer la distribution dans le sens voulu. Il y reste alors appuyé tant que la machine marche dans le même sens, et sert lui-même de toc : pourtant, afin de le soutenir, l'autre branche du bras double Y ou balancier qui le porte s'appuie également sur un arc limité $z' z'$, découpé à l'opposé du premier. Pour stopper, il faut évidemment agir comme avec l'arc fendu des locomotives, ou avec les autres moyens de marcher également en avant ou en arrière, et mettre les tiroirs à mi-course, pour qu'ils bouchent les orifices du cylindre. Pour cela, il suffit de faire tourner le pignon satellite jusqu'à ce qu'il soit au milieu de l'engrenage intérieur de l'arc fendu dans la grande roue, et qu'il place ainsi les tiroirs à mi-course. C'est la position représentée sur la fig. 17, pl. XI. Les registres *v* sont situés à l'entrée de la vapeur dans la partie supérieure de la boîte à tiroir; ils sont formés de trois plaques parallèles, comme des barrettes, qui glissent sur des orifices dont le vide est un peu plus petit que leur plein. Les bandes planes qui séparent ces orifices ont des rainures pour diminuer l'étendue des surfaces frottantes, et les trois barrettes sont liées à une crémaillère horizontale, dans laquelle engrène un petit pignon dont l'arbre perce la boîte et est tourné par une poignée (fig. 3), de manière à faire courir à volonté les trois barrettes à la fois et à livrer un passage plus ou moins grand à la vapeur. En outre, chaque tuyau à vapeur porte un papillon qui, au lieu d'avoir la forme elliptique, prend celle d'un octogone; celle-ci étant plus facile à ajuster d'une manière exacte, au moyen de la machine à raboter, parvient à fermer mieux l'orifice que celle en ovale.

Nous ne nous sommes pas encore occupés des pompes à air *aa*; elles sont à double effet, c'est-à-dire aspirantes et foulantes, au lieu de n'être qu'aspirantes, comme celles de la plupart des appareils Elles ont été employées pour la première fois sur *la Pomone*, et leur usage se répand tous les jours davantage; elles ont naturellement l'avantage de n'avoir que la moitié du volume des autres et de ne pas exiger des renvois de mouvement particuliers, puisqu'elles ont la même course que le piston à vapeur. Dans l'appareil qui nous occupe, elles sont entièrement en bronze, n'ont que $0^m,40$ de diamètre et $1^m,20$ de course, comme les

grands pistons; leur corps placé sous le cylindre et adossé au condenseur (fig. 2 et 3, pl. X) est terminé aux deux extrémités par des sortes de caisses carrées, dont un côté ouvert est entouré de collets boulonnés autour de l'orifice $a''a''$ de la boîte à clapets du condenseur E. Il y a une de ces boîtes à chaque extrémité de la pompe à air : elles sont formées de deux chambres placées l'une au-dessus de l'autre; celle du bas a''' communique avec la pompe et se trouve entre les cloisons percées d'orifices des deux clapets; celui d'aspiration a''' est en bas presqu'au fond du condenseur, et celui de refoulement a'' est en dessus et rejette son eau dans un compartiment servant de bâche. Ces clapets sont tous semblables et formés d'une feuille de caoutchouc vulcanisé *ee*, épaisse de 0m,03 (fig. 3, 4 et 5, pl. X), qui s'applique sur un grillage en bronze établi sur l'orifice. La feuille de caoutchouc est maintenue par une pièce supérieure *e'e'* tenue par des écrous et formant une courbure arrondie vers le haut pour limiter le mouvement du caoutchouc lorsqu'il est soulevé par la pression. Il n'y a qu'un seul de ces clapets pour chaque extrémité de la course et il a 0m,35 de large sur 0m,60 de long; de sorte que les passages, quoique diminués par la grille FF, ont une étendue assez grande pour l'écoulement rapide de l'eau. Cette disposition est moins sujette à des accidents, que celle de la division en une grande quantité de petits clapets séparés comme dans les appareils anglais page 193. Si son caoutchouc se coupe ou se déchire, il est facile de le remplacer par de la toile à voile, et comme il y a devant chaque boîte une porte de regard, une telle réparation ne demanderait que quelques instants. En outre, ce genre de clapet est parfaitement assorti aux mouvements rapides des pompes actuelles, en ce qu'il n'a pas de poids et qu'il est élastique. Cependant quand il a une grande surface, il retombe avec assez de force sur son siége, mais sans faire le bruit et sans causer les ébranlements des clapets métalliques, qui, du reste, ne sauraient résister à des vitesses de 45 à 50 coups doubles par minute. Le piston *a'* de la pompe à air est plein, c'est-à-dire qu'il n'est point traversé par les orifices des clapets; afin d'augmenter son épaisseur, il est vide à l'intérieur et renforcé par des cloisons unissant le noyau avec le pourtour; il est en bronze ainsi que ses garnitures formées de deux anneaux en métal de cloche en tout semblables à ceux du piston à vapeur et faisant ressort par eux-mêmes. La tige *f*, tenue par un écrou en cuivre, est en fer recouvert d'une couche de cuivre rouge et elle sort par un presse-étoupe établi dans la face de la boîte carrée, qui termine la pompe à air.

A l'autre extrémité est un couvercle, qui permet de visiter l'intérieur de la pompe et le piston. Le mouvement est donné à la pompe à air au moyen d'une sorte de saillie ou bras HH, qui descend de la douille, qui sert à uuir la tige du bas T du piston à vapeur avec son prolongement *t'*. L'extrémité inférieure de ce bras est percée avec la tige *ff* de pompe à air *a*, et toutes ces pièces sont clavetées entre elles.

L'injection des condenseurs est réglée au moyen d'un robinet particulier W, dont la noix, au lieu d'être pleine, forme un tronc de cône vide fendu à l'opposé de l'orifice afin de céder aux différences des dilatations et d être appliqué sur le boisseau par son ressort et par la pression de l'eau, pour éviter les fuites. Il est tourné par une clef au moyen de tiges de renvoi et de manettes *w'* pour régler l'étendue de l'orifice d'injection. Son tuyau a un robinet de sûreté ordinaire près de la muraille du navire.

Il n'y a pas à bien dire de bâche, ce réservoir n'étant nécessaire que pour les pompes alternatives à simple effet et servant alors à recevoir la masse d'eau rejetée, pour qu'elle s'écoule pendant que le piston descend et ne refoule plus rien. Mais avec les pompes à double effet, le cours de l'eau est beaucoup plus uniforme et ne nécessite qu'une conduite. Celle-ci part d'un trou ovale percé dans la partie du condenseur, qui répond aux clapets de refoulement, et elle forme d'abord un tuyau évasé d'une section presque double de celle de l'orifice : vers le haut ce tuyau se rétrécit et en contient un autre, qui plonge dans son intérieur jusqu'au niveau du trou de la bâche et se joint à lui par le haut au moyen de collets boulonnés. Il résulte de cette disposition, que dans l'espace compris entre les deux tuyaux et bouché par le haut, il se trouve de l'air qui, comprimé dans les moments où l'eau est refoulée activement, la repousse à son tour et sert de compensateur élastique aux pompes à air. Au-dessus du point de jonction dont on vient de parler, est un autre tuyau ou boîte ronde, dans laquelle est une soupape à siége, levée ou baissée par une tige qui traverse le haut de ce conduit, et cette soupape ne sert qu'à empêcher l'eau d'entrer dans le condenseur quand on pompe de l'air pour visiter l'intérieur, comme nous le verrons plus tard. C'est du côté de cette boîte que part le tuyau qui conduit les eaux jusqu'à l'orifice percé dans la muraille du navire. Tout ce tuyautage est séparé en plusieurs portions de peu de longueur pour la plupart : le premier joint sur le condenseur, est fixe, mais tous les autres sont disposés de manière à avoir un peu d'élasticité. Le plus voisin de la boîte, où est la soupape

pour arrêter l'air, est un joint à douille et glissant comme ceux des tuyaux de vapeur, de la sorte le travail de la muraille le fait glisser dans sa douille; le second, en se rapprochant du navire, est disposé de manière à permettre au tuyau de se courber. Pour cela, l'un des deux collets en regard est continué par une partie cylindrique, qui s'étend assez pour entourer librement l'autre collet et former entre les deux un anneau rempli de caoutchouc; de la sorte, celui-ci est maintenu de toutes parts et se trouve comprimé convenablement tout en permettant aux parties de jouer entre elles, puisqu'elles ne se touchent pas et sont seulement rapprochées par des boulons à travers le caoutchouc et les deux collets. Tout le parcours de ce tuyautage jusqu'à la mer à une section égale à la surface des pistons de pompe à air.

Bien que les appareils à hélice et leurs chaudières soient situés assez au-dessous de la ligne d'eau pour être à l'abri du boulet, on n'a pas encore pris cette précaution pour le tuyau de décharge, à cause de sa grosseur et par conséquent du trou énorme qu'il faudrait pratiquer dans la muraille. Cependant un tel tuyau coupé par un boulet suffirait pour faire rentrer dans le navire toute l'eau repoussée par la pompe à air, et une telle avarie réduirait pour quelque temps la machine à l'inaction. M. Mazeline a donc rejeté l'eau à $1^m,60$ au-dessous de la flottaison et il a cherché à diminuer le danger d'un pareil orifice. Pour cela, il a fait déboucher le tuyau de décharge dans une sorte de caisse carrée en fonte A (fig. 15 et 16, pl. XI), placée au-dessus de la portion du tuyau de décharge qui, en se courbant vers le bas, vient traverser le navire avec un orifice libre *o* de $0^m,42$ carré. Cette caisse est à volonté séparée du tuyau par une porte en bronze *p*, ou grand clapet à charnière bouchant un orifice *o'* de $0^m,42$ carré, avec d'autant plus d'exactitude qu'une fois sur le siége, ce clapet est fortement tiré par une vis qui s'engage dans une partie taraudée de son trou. Alors, et au moyen d'une pompe particulière, l'air est refoulé dans la caisse A attenant à l'orifice dans le navire, jusqu'à ce que l'eau soit repoussée. Un homme entre dans une caisse supérieure B en tôle, de $0^m,68$ en carré sur 1 mètre de haut, bouchée d'habitude par une plaque *bb* boulonnée : il ouvre un robinet *r* placé sur la cloison qui sépare les deux caisses pendant qu'on pompe l'air et il établit l'équilibre de pression dans les deux compartiments, et quand l'eau est assez basse, il ouvre la plaque de séparation et descend jusqu'à un papillon *rr* qui est dans la boîte boulonnée au navire pour ouvrir ou fermer l'orifice. Ce papillon est carré et manœuvré par

une tige à poignée qui passe en dedans de son centre de figure et perce une boîte à étoupe; il sert à interrompre la dernière communication avec la mer. Il faudra une grande perfection dans toutes ces parties, une prudence profonde dans leurs dispositions et dans leur emploi pour qu'elles offrent la sûreté indispensable. Il sera nécessaire aussi que toutes les portions de ces gros tuyaux soient pourvues de presse-étoupes et de tous les moyens de les rendre flexibles, afin de ne pas se briser par le travail des murailles.

Je pense que d'aussi grands orifices ne devraient être percés qu'au moment d'une guerre, et qu'en attendant, il suffirait d'en tracer la place en debors, devant la boîte de la soupape r fixée en dedans comme si l'orifice était déjà ouvert. On emploierait la boîte B pour en faire partir le tuyau de décharge ordinaire et avoir un orifice de décharge au-dessus de l'eau. Il n'y aurait nullement besoin d'entrer au bassin pour percer ce trou et en se faisant un batardeau mobile avec les planches du bord, chaque vaisseau pourrait le faire ouvrir par ses charpentiers et garnir à l'intérieur aussi facilement que dans un bassin à sec. Mais je crois néanmoins qu'il serait bien préférable d'avoir des dispositions convenables pour marcher à volonté comme un appareil à haute pression, comme on l'explique dans le chapitre suivant, et d'éviter le danger continuel de pareils orifices percés sous l'eau.

Toutes les pompes alimentaires p sont réunies à l'extrémité de l'appareil en regard des chaudières; elles sont au nombre de quatre, placées en travers du navire avec leurs boîtes à clapets entre elles; chacune de ces boîtes est fermée par un couvercle facile à démonter pour les visiter. Les clapets sont l'un à côté de l'autre et séparés par une cloison qui forme les chambres, d'où partent les tuyaux d'aspiration et de refoulement. Toute l'eau d'alimentation est prise dans les bâches voisines, pour éviter un long tuyautage vers celles de l'arrière. La soupape de trop-plein est au-dessus de celle de refoulement, et quand elle s'élève par un excès de pression, elle laisse le surplus de l'eau retourner du côté de l'aspiration au lieu d'aller jusqu'à la bâche. Elle est maintenue par un ressort à boudin renfermé dans une boîte, et dont la tension est réglée par une vis. Ce ressort est très-important avec une pareille disposition, en ce qu'il est hors de la vue, et que s'il ne pèse pas assez, l'eau refoulée se rend dans la boîte de l'aspiration et tourne ainsi dans la pompe elle-même au lieu de se rendre à la chaudière. Le mouvement est simultanément donné à tous les pistons plongeurs de ces pompes (fig. 7, pl. X)

au moyen d'un bouton *b* placé sur celle des roues d'engrenage Q' (fig. 17, pl. XI) du grand arbre et destinée au mouvement du tiroir; de ce bouton partent deux bielles horizontales *bc bc*, faisant chacune mouvoir, par la tige supérieure *ca*, une sorte de té renversé *cde* tournant sur le point de jonction de sa traverse *a* et menant la bielle d'une pompe par chacune de ses extrémités *c* et *d*. Comme de ce côté l'arbre de l'hélice est terminé à la dernière manivelle vers l'avant, le palier supérieur porte, pour y suppléer, un petit arbre R' à la suite et dans l'axe du grand, dont la manivelle R'' est entraînée par le bouton de la grande S, de manière à donner le mouvement à l'engrenage du tiroir (qui n'a pas été porté de ce côté de la figure 1), et à toutes les pompes alimentaires. Celle destinée à l'extraction de l'eau de la cale *p'p'* est placée à l'opposé du cylindre, sous le bâtis le plus en avant; elle a $0^m,12$ de diamètre et une course égale à celle du piston à vapeur, par lequel elle est entraînée.

L'extraction de l'eau saturée de sel s'opère par la pression de la vapeur au moyen d'un tuyau, percé de trous latéraux, qui s'étend sur toute la longueur des chaudières, à environ $0^m,06$ en dessous du niveau de l'eau; il communique avec un tuyau, toujours ouvert, dans la mer, et l'écoulement est réglé par un robinet. Ce procédé est plus simple que les pompes d'extraction, il exige moins de tuyautage; mais aussi il nécessite une beaucoup plus grande surveillance sur l'état de saturation des chaudières, et avec la petite quantité d'eau contenue dans celles à tubes, relativement à l'évaporation produite, la moindre négligence causerait des dépôts impossibles à enlever sans démonter tous les tubes.

Il y a deux appareils alimentaires, connus sous le nom de *petit cheval;* ils sont disposés pour prendre l'eau d'alimentation, soit à la mer, soit dans la bâche, s'ils sont employés à aider les pompes ordinaires, et ils remplaceraient entièrement celles-ci dans le cas où l'on marcherait avec les seules machines de l'arrière. Ils servent également à l'épnisement de l'eau de la cale et changent de rôle au moyen de robinets à plusieurs fins.

A partir du dernier palier de la machine, l'arbre de l'hélice a $0^m,36$ de diamètre et s'étend jusqu'à l'arrière du navire en se partageant en deux pièces, l'une de 8 mètres et l'autre de 7 mètres jusqu'à l'embrayage, où arrive l'arbre particulier à l'hélice. Les deux autres portions, au lieu d'être réunies comme on l'a opéré jusqu'à présent, au moyen de manchons et de clavettes, dans le genre de ce qui est représenté planche XII, figures 8, 9 et 10, ont leurs mouvements joints par

une disposition aussi nouvelle qu'ingénieuse, et appelée, je crois, à être généralement adoptée pour obvier aux inconvénients inévitables de l'arc des vaisseaux. Après avoir été soutenues par des paliers, dans le genre de celui représenté figure 14 planche XI, chacune des deux portions de l'arbre A et A' porte un plateau en fonte PP et P'P' claveté solidement et fortifié sur le côté par un bourrelet *pp* et *p'p'*, afin de porter sur lui par une surface cylindrique assez étendue. Les plateaux en fonte sont consolidés par de fortes frettes en fer forgé mises à chaud *ff* et *f'f'*; ils ont une forme ovale et sont percés, près des extrémités de leur grand axe, d'un trou conique, dans lequel est introduit un bouton S, S', S'' et S''', solidement tenu par une clavette *cc*. L'extrémité de chacun de ces boutons est terminée par des sortes de boules *b*, *b'*, *b''*, *b'''*, embrassées deux à deux, comme le montrent les figures 18 et 19, par une bride double *gg* en fer forgé, renfermant des coussinets en fonte et garnis de métal doux, dont le creux est une partie de sphère semblable aux boules *b*, *b'*, *b''*, *b'''* : ils sont serrés par une clavette commune tirée entre deux clavettes à mentonnet, au moyen d'un écrou et d'un contre-écrou. Les résultats d'une pareille disposition sont faciles à comprendre : les plateaux s'entraînent mutuellement dans tous les sens au moyen des brides, dont l'une pousse tandis que l'autre tire, et cela en s'équilibrant assez pour ne pas fatiguer les paliers, qui n'ont, comme d'habitude, d'autre effort que le poids de l'arbre. Si l'axe de l'un des arbres est plus ou moins haut que l'autre, chacune des brides, en jouant sur les boutons, laisse le mouvement libre de s'effectuer; si les arbres ont leurs axes dans des directions obliques, et que les plateaux ne tournent plus dans des plans parallèles, mais se rapprochent vers le bas pour s'éloigner vers le haut, alors la forme sphérique des extrémités *b*, *b'*, *b''*, *b'''*, des boutons permet aux brides de changer d'angles et d'osciller en tournant sans présenter la moindre chance d'échauffement. On a de la sorte un joint universel aussi simple que solide, et permettant aux arbres d'être obliques, lorsque le navire prend de l'arc. Avec cette disposition, il ne sera plus nécessaire de relever fréquemment des machines pour les ramener dans l'axe de l'arbre, comme on a été déjà forcé de le faire, même sur des navires neufs.

Comme l'hélice de ces vaisseaux ne se démonte pas, son embrayage devient très-important, et cette manière de la séparer à volonté de la machine ne saurait être trop solide et en même temps d'une manœuvre trop prompte et trop facile. Elle est opérée au moyen de deux plateaux

pp et *p' p'* (fig. 6, 7, 10, 11, 12 et 13) placés en regard au point de séparation des deux arbres A et A' : ces deux plateaux sont en fonte avec des parties évidées à l'intérieur (fig. 12) pour diminuer leur poids ; mais ils sont solidement frettés par des cercles de fer mis à chaud. Tous deux sont ajustés sur une partie plate *aa* et de section rectangulaire qui termine le bout de chaque arbre et qui entre dans le trou de même forme laissé au milieu des plateaux, qui sont représentés en section sur les fig. 12 et 13. La partie gauche de la fig. 12 montre la moitié du plateau de l'arrière, et celle à droite appartient à celui de l'avant. Chacun des plateaux porte sur sa portion d'arbre par deux clefs *cc* destinées à les tenir dans le même alignement, et résiste à l'effort de torsion en appuyant par les angles sur des plaques en bronze, espèces de touches *t*, *t*, *t*, *t*, établies à queue d'aronde dans la fonte des plateaux, de manière à laisser glisser les surfaces, si les arbres sont dénivelés. C'est pour permettre ce mouvement que les parties rectangulaires n'appuient que par les extrémités de leurs grands côtés. Le plateau de l'arrière *p' p'* porte deux forts boutons en fer forgé *bb*, enfoncés dans des trous coniques et solidement tenus par des clavettes : ce plateau est invariablement fixé à l'arbre de l'hélice A'. L'autre *p*, au contraire, est disposé de manière à glisser sur la partie carrée de l'arbre de la machine A, pour s'éloigner ou se rapprocher à volonté du premier. Il est percé de deux trous placés à une distance du centre égale à celle des boutons *bb*, et garnis à l'intérieur de plaques ou touches en bronze semblables à celles des manivelles des machines à roues à aubes, mais formées de viroles au lieu d'être emmanchées séparément à queue d'aronde ; et comme les soyes ordinaires, les gros boutons *bb* ont également des parties plates et assez de jeu pour permettre les dénivellements sans avoir à en supporter les efforts. De la sorte, lorsque le plateau *p* glisse vers l'arrière et se rapproche de celui *p'*, comme sur la fig. 6, les boutons entrent dans les trous et réunissent les deux arbres ; ils les séparent dans le cas contraire. Pour opérer ce mouvement, le plateau glissant a sur l'avant une rainure circulaire *rr*, dans laquelle entrent les boulons latéraux de deux leviers *ll* réunis en un seul *l'*, sur lequel on agit avec un palan, comme sur celui des lunettes des stoppeurs, ou avec une crémaillère et un pignon *k*. De la sorte, tout le plateau est entraîné, même pendant qu'il tourne, et lorsque les boutons rencontrent les trous, l'embrayage est opéré. Cette disposition permet plus de rapidité d'exécution que celles habituellement adoptées, et elle a, sur celle représentée fig. 4,

5, 6 et 7, pl. XII, l'avantage d'agir aux bouts d'un plus grand diamètre et de mieux se prêter aux défauts d'alignement.

Afin de faciliter l'embrayage, on a le moyen de diminuer la vitesse ou même d'arrêter la rotation de l'hélice par un frein (fig. 10 et 11, pl. XI) formé des deux bandes flexibles d'un grand anneau en étoffe. La partie inférieure a une saillie percée d'un trou pour se fixer par un boulon entre deux branches solidement chevillées à la carlingue. Les deux demi-anneaux embrassent une partie cylindrique à collet *pp* (fig. 6) du plateau de l'arrière ou de l'arbre de l'hélice, et deux fortes vis, avec des manivelles à étau toujours en place pour éviter les retards, passent dans les oreilles de chacune des bandes, tendent à les rapprocher et à produire sur le plateau un frottement capable de l'arrêter à la position voulue. Cela permet de présenter les boutons, pour qu'ils entrent dans les trous du plateau de l'avant et opèrent l'embrayage. Quand le frein ne sert pas, il faut avoir soin de desserrer assez ses vis et de le soutenir de manière à ce qu'il ne touche pas la surface du plateau.

Ce procédé ne saurait donner à l'hélice la position voulue : aussi lui ajoute-t-on un engrenage monté sur le plateau de l'arbre de la machine, dans lequel engrène un pignon : l'arbre de celui-ci s'élève dans le faux-pont et porte un petit chapeau de cabestan, de manière que quelques hommes, en viraut, puissent faire tourner l'hélice et l'amener, ainsi que la machine, à la position voulue, soit pour l'embrayer, soit pour la remonter dans son puits, quand cette opération s'effectue. Le peu de force qu'on donne à ce mécanisme et le petit nombre d'hommes qu'on y applique rendent ses opérations lentes et sont quelquefois une cause de retard pour les embrayages.

La poussée de l'hélice est formée d'une suite de collets *cc*, comme nous l'avons déjà vu dans le texte anglais, page 197. Cette méthode si simple est d'un usage général, et elle est rendue plus facile par l'emploi du métal antifriction qui, coulé dans les intervalles, s'adapte à merveille à toutes les inégalités des collets et qui, par son retrait, laisse juste ce qu'il faut pour le passage de l'huile. La figure 6, pl. XI, donne une idée exacte de cette excellente disposition ; elle montre, en outre le palier suivant, qui, de même que tous les autres, a ses coussinets garnis de métal doux et qui se soutient au besoin par des clefs *k* tirées par une vis, pour corriger les petits dénivellements qu'éprouverait l'arbre. Le graissage de toutes ces parties est très-important, à cause de la rapidité de la rotation, et il serait très-utile qu'il fût opéré par des procé-

dés mécaniques disposés de manière à ne pas répandre dans la cale une quantité d'huile, qui devient bientôt infecte. M. Mazelne avait proposé antérieurement un système semblable pour la corvette *le Roland*, mais il l'avait placé à l'arrière de l'hélice, dans un massif en bronze fixé à l'étambot de l'arrière et destiné à résister à la marche en arrière comme à celle en avant; il avait proposé quinze collets ou anneaux, qui diminuaient progressivement vers l'arrière. La machine du *Roland* étant à engrenage, ce système ne fut pas employé, bien qu'il soit propre à toutes sortes de machines à hélice.

La sortie de l'arbre à travers le massif de l'arrière du vaisseau est une des dispositions les plus importantes, à cause de la grande étendue de l'orifice, de sa situation très-basse et du travail inévitable de cette partie de la charpente, constamment ébranlée par le propulseur. Pour éviter l'infiltration de l'eau, on garnit le trou pratiqué dans toutes les varangues acculées et l'étambot avec un manchon en cuivre fondu de $0^m,025$ d'épaisseur, encastré dans le bois et solidement mastiqué : à l'arrière il s'évase, et par un collet il s'unit au bois avec des vis. Ce tuyau *tt* (fig. 1, 2 et 5, pl. XI) augmente aussi de diamètre dans l'intérieur pour contenir le presse-étoupe. Il excède celui de l'arbre de $0^m,07$ à $0^m,08$, de manière à laisser entre eux assez de jour vers le haut. Toute la partie de l'arbre située dans le tube est entourée d'une couche *cc* de 0,008 d'épaisseur de cuivre rouge dans les endroits où il n'y a pas de frottement, et de bronze *b'b'* dans l'œil de l'arrière ainsi que dans le presse-étoupe *pp*. Ce presse-étoupe est disposé de manière à n'avoir pas à résister aux efforts de l'arbre, si l'alignement cessait d'être exact; il est porté par une plaque en bronze *abcd* (fig. 2, 3, 4 et 5, pl. XI) établie à frottement sur une seconde plaque *fghi* solidement fixée au navire par des boulons en cuivre rouge (fig. 4) et comprenant entre ses collets l'extrémité du tuyau *tt*. La plaque *abcd* est tenue sur la première au moyen de quatre boulons en fer *abc'd* pris dans des fentes verticales, de manière à maintenir la plaque tout en permettant le glissement. Afin de rendre les deux plaques étanches, celle de l'avant forme sur son pourtour une engoujure *a* (fig. 5), dans laquelle on introduit du caoutchouc vulcanisé comprimé par les vis *abcd*. Le trou pratiqué dans la plaque du navire est ovale, comme tout le tuyau *tt* qui vient s'y ajuster. De la sorte, la cavité pratiquée dans la charpente n'a que dans le sens vertic l l'étendue nécessaire pour obvier aux dénivellements de l'arbre et à l'arc du navire. La garniture, au lieu d'être en chanvre, est formée d'un

anneau de caoutchouc comprimé par la couronne au moyen des quatre boulons *p p*; et si cette matière manquait, elle serait facilement remplacée par du chanvre ou du coton, comme pour les tiges de piston. A sa sortie du navire, l'arbre n'est pas soutenu psr des coussinets et il n'est porté que psr celui de l'étambot du gouvernail, disposé comme à bord du *Caton* et du *Napoléon* (pages 301 et suiv.)

Les chaudières sont tubulaires, à retour de flamme (fig. 7, pl. X, en section), divisées en six corps, laissant au milieu un parquet de chauffeurs commun aux deux bords. Chacun des corps est séparé du voisin par une coursive de $0^m,40$ en bas. Ceux des extrémités ont quatre foyers et ceux du milieu trois, de sorte que la totalité est vingt-deux. Les coursives sont assez larges pour les réparations, mais trop étroites pour le service du charbon vers les soutes latérales. Les grilles ont $2^m,40$ de long sur $0^m,70$ de large; elles sont terminées par un autel en briques *a*, et leur flamme débouche dans une boîte à feu commune *f*, d'où elle traverse les tubes et vient dans la boîte à fumée *t*. Celle-ci a sa partie supérieure *t'* cylindrique, de manière à produire une assez grande surface dans les chambres de vapeur, et les boîtes à fumée de tous les corps d'un même côté communiquent entre elles en formant ainsi un gros tuyau plein de fumée, qui, par son centre, débouche dans une calotte oblique *c*, et celle-ci, dirigée vers celle en regard, porte la cheminée. Les tubes sont en laiton; ils ont $2^m,45$ de long et $0^m,15$ de diamètre; ils sont au nombre de 144 dans le corps de chaudière du milieu et sont placés sur huit rangs dans le sens vertical, de manière à laisser un plus grand intervalle au-dessus des cloisons d'eau des foyers. Dans les quatre corps de chaudière placés loin de la cheminée, il y a 192 tubes; la totalité de ces derniers est donc de 1056.

MACHINE DE *L'ALGÉZIRAS*.

Afin qu'une même pensée dirigeât l'ensemble d'un vaisseau à grande vitesse, M. Dupuy de Lôme a été chargé de la construction de *l'Algéziras* et de celle de son appareil moteur d'une force nominale de 900 chevaux. De la sorte on évite les inconvénients d'une machine conçue sans la participation du constructeur du navire : car ce dernier, ayant calculé le plan général et tous les détails, devrait toujours être libre de choisir le système d'appareil qui convient à ses vues; puisque la machine est faite pour le navire et que c'est à lui qu'elle doit s'assortir. Cette fois au moins

l'harmonie désirable sera obtenue, et il y a lieu d'en espérer des résultats supérieurs à ceux des constructions précédentes.

M. Dupuy de Lôme a choisi un système de machine très-compacte et très-solide, dont on va chercher à donner une idée en se référant aux dessins de la pl. XIV. L'appareil entier occupe 7^m dans le sens de la longueur et $5^m,84$ dans le sens de la largeur : il ne couvre donc que $40^m,88$ carrés de surface de carlingue, et n'est pas exposé à la fatigue ou à la rupture des bâtis comme ceux qui s'étendent d'un bord à l'autre. Les deux cylindres CC sont placés à tribord et les condenseurs VV à bâbord, avec leurs pompes à air et tout ce qui regarde la condensation. Les deux causes physiques du mouvement, le froid et le chaud, se trouvent ainsi séparées, et tout en ayant leurs actions libres, elles ne sont pas aussi exposées que dans les appareils ordinaires à des influences réciproques et nuisibles, causées par le contact des cylindres et des condenseurs. Trop souvent on a semblé oublier qu'une fois sortie de la chaudière la vapeur ne cesse pas d'être soumise à des actions physiques semblables à celles qui l'ont produite; que le calorique lui est aussi nécessaire que le froid lui est nuisible, et que pour elle il en est de la chaleur comme de la pesanteur pour l'eau des roues hydrauliques : si on l'expose à être refroidie, on perd tout autant de force que si on employait des augets percés de trous (voy. plus loin ce qui est dit sur la détente).

Les cylindres sont horizontaux, ils ont $2^m,13$ de diamètre, et leurs pistons ont $1^m,30$ de course. Ils reposent sur la plaque de fondation AA, qui porte sur des carlingues fortifiées par des bandes de fonte $a''a''$, prises entre les pièces de bois. Cette plaque de fondation s'étend d'un bord à l'autre et réunit par le bas le côté des cylindres à celui des condenseurs.

Tous les efforts statiques se font sur le cylindre et le bâtis, sans que les boulons de fondation en aient à supporter, si ce n'est celui des vibrations et de la jonction au navire. L'action et la réaction de la force transmise aux manivelles s'exerce donc sur les cylindres et les bâtis, sans avoir besoin du concours des boulons de fondation. Le groupe des condenseurs n'éprouve que le frottement horizontal des glissières $b'b'$ dans les guides *gg*, celui des pompes à air et des pompes alimentaires, ainsi que les composantes verticales de l'effort de la grande bielle B. Il faut en outre remarquer que tout le travail de servitude de la machine, c'est-à-dire celui employé au mouvement des organes nécessaires au

fonctionnement, tels que les pompes à air, et celles à alimentation, se trouve directement pris sur le piston moteur, au lieu de l'être sur des renvois de mouvement; de sorte que la grande bielle ne transmet à l'arbre que l'effort net destiné au mouvement de l'hélice. Les deux cylindres sont en contact par le côté (fig. 2 et 3) et réunis entre eux, ainsi qu'au bâtis du milieu, par des oreilles venues de fonte avec les cylindres, et sur lesquelles sont capelés des cercles en fer forgé mis à chaud.

Le piston P est en fonte, à garniture métallique annulaire; il communique son mouvement à l'extérieur au moyen de quatre tiges p, p', p'' et p''': dont deux p et p' passent au-dessus de l'arbre et les autres en dessous; tandis que celles de gauche p, p''' passent sur l'avant des manivelles et les autres p', p''' sur l'arrière. Ces tiges traversent une douille q' destinée à tenir le bras q'', et elles se prolongent au delà pour s'emmancher dans la pièce b qu'elles traversent de manière à être retenues par des écrous du côté opposé au cylindre. La pièce b est en fer forgé; ses quatre arêtes $b'b'$ (fig. 1) sont engagées entre les guides en fonte gg formés par le dessus et le dessous du condenseur VV. Le milieu de la pièce bb forme le tourillon du pied de la grande bielle B, dont les coussinets sont serrés par des écrous, en s'introduisant dans le vaste conduit formé entre les condenseurs, qu'on remarque à la partie inférieure des figures 1 et 2. De la sorte, le mouvement de va et vient du piston est transmis par les quatre tiges à la pièce bb, et de là à la manivelle M au moyen de la grande bielle B, qui oscille entre les quatre tiges de piston. Cette disposition ressemble donc à celle des machines en clocher de M. Napier, et elle ne diffère de celle du *Duquesne* (page 436) que par l'emploi de quatre tiges de piston au lieu de deux. Elle offre le renvoi de mouvement le plus simple et le plus compacte qu'on ait encore employé, et elle conserve à la bielle une longueur suffisante.

Les déperditions de chaleur sont arrêtées par une chemise en tôle, qui entoure de toutes parts le cylindre et sert à la circulation de l'air chaud pris entre la cheminée et la chemise qui entoure celle-ci; de manière à faire circuler toujours le même air, dans ces parties et autour des cylindres, au moyen d'un ventilateur mis en mouvement par une courroie passée sur la poulie $z''z''$ montée sur le bout d'arbre destiné à mouvoir les pompes de cale zz. Avant de mettre la machine en marche, le ventilateur est tourné à bras pour réchauffer le cylindre et le mettre à même de développer toute sa force au premier commandement. L'air ainsi entraîné a pour but de maintenir le cylindre à une température un peu plus

élevée que celle de la vapeur employée, et d'empêcher non-seulement les pertes de chaleur par rayonnement, mais aussi celles occasionnées par la manière d'agir de la vapeur dans le cylindre. Car ce n'est que par des alternatives de températures différentes que la force est produite, et le froid du condenseur diminue la température intérieure et produit sur toutes les parois du cylindre et du piston des gouttes de rosée qui condensent la vapeur beaucoup plus que ne le fait le métal. En effet ce dernier a très-peu de chaleur spécifique, et sa conductibilité n'est pas assez grande pour que les variations de température si rapprochées le pénètrent et trouvent assez de chaleur à prendre ou à donner. C'est surtout à cette rosée que M. Dupuy de Lôme attribue les pertes considérables du fonctionnement intérieur de la vapeur, et il les diminuera beaucoup par cette enveloppe d'air qu'il compte maintenir à une température d'environ 120° : son but étant d'empêcher la vapeur de se refroidir et surtout de conserver les cylindres secs.

L'arbre *aaa* forme deux vilebrequins placés à angle droit et faits de la même pièce de forge, ainsi que les portées des têtes de bielle dont le diamètre est de 0^{m},39, comme celui de l'arbre, et la longueur suivant l'axe seulement 0^{m},25, afin de conserver à toutes ces parties la rigidité nécessaire. Cette dernière condition et la plus grande simplicité de l'appareil ont fait préférer deux cylindres à l'emploi de quatre, comme dans beaucoup de machines directes, et M Dupuy de Lôme pense que le levier tournant des manivelles exerce sur les paliers des actions obliques et changeantes tellement fortes avec les pressions et les rapidités de mouvement employées aujourd'hui, qu'il est nécessaire que l'arbre contribue à maintenir les lignes de rotation par sa propre rigidité. Aussi pense-t-il que les ajustages et les jonctions de pièces entre elles n'offrent pas des garanties suffisantes contre les échauffements, et que même avec quatre paires de manivelles, il serait préférable de les avoir d'une seule pièce de forge plutôt qu'interrompues au milieu, parce qu'on a remarqué que c'est presque toujours à ce point que se présentent les échauffements. L'arbre est soutenu par trois paliers très-solides et réunis aux cylindres et à la plaque de fondation : il a été tourné d'une manière très-ingénieuse au moyen de contre-poids, qui tendaient à le soulever au lieu de contribuer à surcharger les pointes et d'exiger ainsi un outil d'une dimension monstrueuse. Ces contre-poids agissent sur des chaînes passées sur une poulie au sommet de l'atelier et puis sous une autre tournant autour de la partie de l'arbre qu'il s'agit de soutenir, pour retourner faire

dormant au plafond : de la sorte, les positions excentrées nécessaires pour tourner les portées de bielles n'exposent pas à des flexions comme en se servant de contre-poids.

La dernière manivelle du côté de l'hélice étant de la même pièce que les autres, son arbre s'étend très-peu au delà du palier et sa jonction avec celui de l'hélice d' est opérée au moyen de deux plateaux l'un *dd* claveté sur l'arbre de la machine et l'autre *d'd'* sur celui de l'hélice, réunis par de forts boutons de manivelle *d''d''* clavetés dans *dd*, introduits dans les trous de *d'd'* par des parties arrondies et aplaties sur les faces qui appuient contre des sortes de touches, de manière à glisser sur ces surfaces, si les axes des deux portions d'arbre ne sont pas en ligne droite. Les boutons ont la partie destinée à entrer dans les trous de *d'd'* plus petite de $0^m,003$ que celle engagée dans le trou de *dd*, afin de pouvoir être retirés quand même les efforts sur le bord des trous auraient mâché le fer, ou la rouille gommé les surfaces au point d'empêcher de désembrayer, comme on l'a éprouvé par ces causes. Le plateau *d'd'* a une saillie découpée en dents obliques dans lesquelles s'engraine la vis sans fin destinée à faire tourner la machine à bras, pour présenter les trous de son tourteau afin d'embrayer. Le reste de l'arbre est disposé comme d'habitude : il est brisé auprès du presse-étoupe par un embrayage analogue à celui du *Napoléon*; son extrémité repose dans le coussinet de M. Dupuy de Lôme (page 303). Afin d'éviter le ballottement suivant l'axe, produit par le cône du tourillon du bout de l'arbre, il se trouve un grain en goutte de suif et en bronze encastré dans l'extrémité de l'arbre de l'hélice au point où il porte le plateau d'embrayage. Dans l'arbre de la machine est introduit à frottement doux un cylindre en bronze dont le bout creux prend le grain en goutte de suif, et qui est poussé par une clavette qui perce l'arbre et est tirée par un écrou; de la sorte, les variations de longueur de l'arbre sont compensées par le serrage de cette clavette. Quand on marche à la vapeur, tout l'effort d'impulsion porte sur ces deux points; mais comme ils sont entraînés par le même mouvement, ils ne frottent pas l'un sur l'autre.

Chacune des manivelles M est enchassée dans un cercle en fonte (marqué sur les figures en petits traits), qui porte à l'opposé un contre-poids destiné à équilibrer le mouvement des différentes pièces de la machine comme on l'a fait sur des locomotives. Ce cercle sert pour ainsi dire d'enveloppe à la manivelle et à son contre-poids, au lieu de les laisser tourner librement dans l'air.

L'hélice, tracée en ponctué sur la fig. 1, est formée de six ailes fondues séparément et terminées à la base par une partie ronde : celle ci est introduite dans un trou de même forme percé dans un moyeu commun, et y est maintenue par une clavette : ce moyeu forme une boule dans le genre de celle de l'hélice Griffith (page 297), mais d'une dimension beaucoup moindre. Le peu de longueur des ailes suivant l'axe permet de diminuer beaucoup le vide de la cage de l'hélice et leur nombre fait espérer moins de trémitation dans tout l'arrière du vaisseau. Le diamètre de l'hélice est de 5^{m},85; son pas est variable, il est de 8^{m},50 à l'entrée, 9^{m},50 à la sortie et celui de la corde est 9^{m} : ce qui donne la même longueur au pas moyen.

Mais revenons aux détails de l'appareil : les paliers de l'arbre sont placés sur le côté et dans un plan vertical, pour que le serrage des coussinets soit horizontal, c'est-à-dire dans la direction de l'effort des machines. Cette disposition permet de visiter facilement ces parties sans être forcé de démonter les tiges de piston, et les boulons de chapeau *e e* se trouvent directement opposés à la poussée principale. Les coussinets sont garnis de métal doux, ainsi que ceux de toute la machine; mais ils sont en bronze, afin que l'usure ou la fusion du métal, en cas de négligence, ne laisse pas porter le fer des articulations sur la fonte employée par économie dans d'autres appareils.

Les tiroirs T sont en D, comme ceux des premières machines à basse pression et divisés en deux portions *t* et *t'*, afin que les orifices se trouvent aux extrémités du cylindre et n'occasionnent pas de pertes de vapeur comme dans les conduits des tiroirs trop courts relativement au cylindre. Ils sont en fonte de fer frottant sur les bandes des orifices du même métal, ce qui donne un meilleur frottement que celui du bronze sur la fonte ou sur lui-même. Chaque partie forme derrière la barrette un espace vide dans lequel la vapeur ne passe pas et qui éloigne encore plus le chaud et le froid, au lieu de les faire circuler l'un à côté de l'autre comme dans les anciens tiroirs ou dans ceux en coquille. Le tiroir reçoit la vapeur par le tuyau *t'' t''* dans la partie intermédiaire *t'''*, et la distribue au piston par les parties en regard de ses barrettes. Au contraire l'évacuation a lieu par les bords éloignés et par le gros tuyau *v* qui fait communiquer les extrémités de la chemise du tiroir avec le condenseur V. Comme, de la sorte, l'évacuation ne laisse pas sortir l'eau entraînée par la vapeur, il se trouve en dessous du cylindre des orifices *ι ι* avec des soupapes glissantes, pour qu'à chaque coup de piston l'eau

soit chassée dans le condenseur. La partie arrondie des tiroirs a des garnitures en bandes de métal pressées par des segments en caoutchouc au moyen de presse-étoupes ordinaires serrés par des vis.

Chacun des tiroirs reçoit séparément le mouvement au moyen de deux engrenages *k k* et *k'k'*. Le dernier est calé sur le grand arbre *a* et s'engrène avec le second, qui est emmanché sans être claveté sur un arbre particulier *j* placé en dessus du grand arbre et soutenu par des consoles élevées *b' b'*. Les diamètres des deux roues dentées sont égaux, de sorte que l'arbre *j* tourne aussi vite que celui de l'hélice, mais en sens inverse. Ce petit arbre porte sur sa longueur deux manivelles parallèles et en vilebrequin, dont les portées sont prises dans de petites bielles *b* qui embrassent, par leurs coussinets, une traverse *l'* conduite entre deux guides, ou glissières horizontales *l'' l''* et du milieu de laquelle part la tige du tiroir *t'''*. Celle-ci embrasse l'arbre *j* par une partie en bronze, formant une longue coulisse. Le calage des tiroirs relativement aux pistons à vapeur est déterminé par la manière dont les deux roues *k* et *k*, sont engrenées entre elles, et le mouvement de va et vient est produit par les manivelles de l'arbre *j j* au lieu de l'être par un excentrique.

Le mouvement de la machine est renversé en changeant la relation de l'arbre de l'hélice et de celui des tiroirs, en faisant varier la position des manivelles de ce dernier, relativement à la roue dentée *k*. Pour cela, l'arbre *k* de cette roue est une douille traversée par l'arbre *j* et porte un pignon qui engrène à droite et à gauche avec les roues dentées *m'* et *m'*, montées sur de petits arbres *m'' m''*, qui traversent des rayons de la roue *k*, et qui à l'opposé de celle-ci portent chacun un pignon *r r*, lequel engrène dans des dents intérieures de la roue *r' r'* adossée à *k k*. De la sorte, quand tout le système tourne, les deux pignons *r r* restent appuyés sur la partie extrême de l'arc denté de la roue *r*, *r'*, et servent de buttoir pour la direction dans laquelle on marche ; mais si une cause les fait tourner, ils tendent à parcourir leur arc denté et comme la roue de celui-ci est clavetée sur l'arbre, ils changent la position de ce dernier relativement à celle de *k k*, c'est-à-dire de l'arbre des manivelles, et par conséquent ils modifient la position relative des tiroirs et des pistons, pour marcher en avant ou en arrière. Pour obtenir ce mouvement de translation des roues *r*, *r'* et *k k*, quand la machine est arrêtée, il faut tourner le pignon de l'arbre *j* au moyen de la roue *s s* pour entraîner *m' m'* et les pignons *r*, afin de faire glisser de *r' r'* relativement à *k k*. Si la machine est en marche, le mouvement général entraîne

la roue $s s$, et il suffit d'apporter un obstacle à sa rotation pour qu'elle entraîne les pignons dont il a été question et change l'angle des manivelles du tiroir $j' j'$, et de celle de l'arbre, jusqu'à renverser le mouvement général ou à l'arrêter en cessant l'obstacle au milieu de la course des pignons $r r$ dans l'arc denté de $r' r'$. Cet obstacle à la rotation de la roue $s s$ est obtenu à volonté au moyen d'un frein à frottement s' comprimé par le levier s'', articulé à une petite console fixée au condenseur. Cette méthode ingénieuse permettrait à un enfant de manœuvrer l'appareil le plus puissant; elle est aussi certaine, moins compliquée et d'un effet plus rapide que l'arc fendu emprunté aux locomotives. Elle renverse instantanément le mouvement sans exiger le moindre raisonnement, ni la moindre attention, puisque peser sur le frein suffit pour changer la direction, qu'elle soit à ce moment vers l'avant ou vers l'arrière. Il est si important de manœuvrer promptement les machines, d'être surtout certain de le faire au commandement, qu'il est à souhaiter de voir généraliser l'ingénieux système de MM. Dupuy de Lôme et Mazeline (voy. page 441), pour diminuer les chances des fausses manœuvres et des abordages.

La détente de l'appareil de *l'Algéziras* est produite par un excentrique particulier o monté sur l'arbre j, et servant à mouvoir une sorte de tiroir contenu dans le tuyau d'arrivée de vapeur $t''t''$ à sa partie la plus rapprochée du cylindre. La fermeture du passage de la vapeur est opérée par un cylindre creux contenu dans une boîte de même forme; tous deux ont des orifices qui laissent passer la vapeur contenue dans le cylindre intérieur, quand ils sont en rapport, et l'interceptent dans les autres positions; de sorte que le mouvement imprimé par l'excentrique arrête la vapeur en allant et en revenant. Les moments de ces fermetures, relativement à la course du piston, sont modifiés à volonté en changeant le calage de l'excentrique o relativement à son arbre j. Pour cela l'excentrique a dans le trou traversé par l'arbre des saillies qui prennent dans deux rainures découpées, suivant une longue spirale dans une douille qui entoure l'arbre, de sorte qu'en transportant celle-ci parallèlement à l'axe, le calage de l'excentrique est naturellement changé. Cette translation est opérée au moyen de la vis o' entraînée par la petite roue o''. La tige de la soupape de détente est jointe ou séparée à volonté de celle de l'excentrique par une enclanche ordinaire tenue en prise ou portée par un contre-poids o''', et quand on marche à toute volée ou qu'on stoppe, l'effet de la détente est supprimé en tournant la roue o''', pour placer

l'excentrique *o* de manière à ouvrir ou fermer en même temps que le tiroir. Quand la machine est stoppée pendant que la détente était employée, on empêche la soupape glissante de cette dernière d'intercepter le passage de la vapeur, en lui ouvrant un passage au-dessus de cette soupape, pour qu'elle se rende directement au tiroir : un petit levier sert à produire ce changement.

L'arrivée de la vapeur aux cylindres est réglée par des plaques glissantes contenues dans le tuyau de vapeur et entraînées par une crémaillère s'' et un pignon au moyen de la roue dentée s' tournée elle-même par un petit pignon. La vapeur comprime ces plaques glissantes sur les orifices et en fait de bonnes soupapes d'arrêt.

Quoique l'appareil fonctionne à une pression d'au moins une atmosphère, et soit par conséquent en mesure de partir sans purger comme une machine à basse pression, il n'en existe pas moins une soupape de purge ordinaire soulevée par le petit levier s''' et la tige attenante. Cette précaution est importante pour la manœuvre, en ce que souvent on n'a pas la pression nécessaire pour mettre en marche sans la coopération du vide et que la machine est exposée à ne pas partir malgré les ordres reçus. En outre, si des raisons de sûreté font diminuer la pression de régime, la machine n'est pas forcée de recevoir après coup cette addition.

Jusqu'à présent nous ne nous sommes occupé que de ce qui regarde le cylindre, c'est-à-dire le côté chaud de l'appareil, et il reste à détailler celui du condenseur, où la vapeur va perdre sa température élevée. Comme on le voit sur les figures, le condenseur V forme devant chaque cylindre une caisse rectangulaire en fonte, au milieu de laquelle est le grand espace vide dans lequel avancent et reculent les tiges des pistons p'' et oscille la grande bielle B. Chaque machine a de la sorte son condenseur divisé en deux parties, ayant chacune sa pompe à air U, dont le piston plein et à garniture en chanvre, est visité par le derrière de la pompe. Il est entraîné par la tige *u*, clavetée au bout du bras q'', qui descend de la douille employée à unir la tige de piston intérieure p'' à son prolongement. Il y a deux pompes à air par cylindre, leur course est égale à celle du grand piston; elles sont aspirantes et foulantes, et leurs clapets d'aspiration $u'u''$ sont placés au bas du condenseur et à chaque bout du cylindre, tandis que ceux de refoulement ou de tête u''' sont plus haut et sur le côté. Ces clapets sont formés de nombreux trous bouchés par des rondelles en caoutchouc, retenues

par une coupe renversée comme le montrent les fig. 18, 19 et 20, page 193 : ils sont établis sur des plaques en bronze, tenues par des boulons. Les tuyaux de décharge $u'''u'''$ partent du sommet du compartiment supérieur de la grande caisse VV, qui sert de bâche, et déversent l'eau de condensation au-dessus de la flottaison : ils plongent dans cette bâche, dont la partie supérieure pleine d'air régularise l'écoulement de l'eau. L'aspiration et le refoulement de la grande masse d'eau nécessaire à la condensation, se trouve ainsi divisée par les deux pompes et occasionne moins de chocs qu'avec une seule. Cette considération est importante avec les grandes vitesses de rotation de ces machines.

L'eau d'injection arrive de la mer par le tuyau $y'y'$ et est réglée par le robinet y, qui, au lieu d'avoir une seule fente, en a plusieurs correspondantes à celles du boisseau, de manière que le mouvement de cette noix fendue ouvre ou ferme à la fois plusieurs orifices longs, mais étroits, par lesquels l'eau jaillit dans toutes les directions, en tombant du sommet du condenseur et en frappant ses parois. Il résulte de cette position du régulateur d'injection dans le condenseur lui-même, que, quelque petite que soit la quantité d'eau injectée, elle n'entre jamais mollement, comme lorsque l'étranglement du passage a lieu loin de l'entrée dans le condenseur : cette considération est importante pour des machines à grande vitesse, qui très-souvent ne fonctionnent qu'avec une petite partie de leur puissance et injectent très-peu.

Les pompes alimentaires w ont leur corps venu de fonte avec le condenseur et ont leur piston plongeur mené directement par la machine au moyen des bras $w''w''$ qui partent des tiges de pistons supérieures p et p' à l'opposé et au-dessus de ceux des pompes à air q'', elles suivent ainsi le mouvement général, et prennent directement au piston la force motrice nécessaire à leur travail. Leur boîte à clapet w''' est adossée à la partie extérieure de la bâche.

Quant aux pompes de cale zz, elles sont placées à l'extrémité avant des machines et menées par un bras x, ayant au milieu une tige verticale, dont l'extrémité fendue sert de coulisse à un bouton placé excentriquement à l'extrémité du grand arbre : le bras ou balancier xx oscille autour du point de jonction avec la tige verticale, et fait monter une pompe quand l'autre descend. Chacune des pompes a près d'elle une boîte à clapets z'.

CHAPITRE VI.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES NAVIRES A HÉLICE ET SUR LEURS APP REILS MOTEURS.

Il existe peu de problème important pour la navigation militaire ou commerciale, qui mérite autant l'intérêt de tous les marins que celui du navire à hélice. Des siècles d'expériences et de recherches avaient amené les vaisseaux à une admirable perfection : les ingénieurs, les savants et les marins n'avaient cessé, dans tous les pays de l'Europe, de corriger les défauts et de faire naître de nouvelles qualités. La France s'était signalée dans cette voie, et le génie de Sané était arrivé à produire des vaisseaux formidables par leur artillerie, sans perdre les qualités nautiques dont brillaient ses frégates. Des modifications postérieures avaient ajouté à la force militaire de ces admirables modèles. On avait donc lieu de se croire arrivé à la perfection de cet être gigantesque, fruit du génie de l'homme, qui certes surpasse tous les chefs-d'œuvre de l'architecture, en ce que, doué du mouvement et docile à la main qui le conduit, il affronte les éléments les plus terribles et parcourt toutes les phases de la vie.

Ce fut lorsque ces résultats venaient d'être obtenus que la machine à vapeur apparut et donna le moyen de produire des forces énormes. Fulton l'appliqua bientôt à mouvoir des navires, et employa la roue à aubes comme moyen de propulsion. Il fut universellement imité, et les succès qu'on obtint empêchèrent d'apercevoir quelques essais sur d'autres procédés d'appliquer la force de la vapeur à la marche des navires. On admit donc généralement les roues à aubes et on s'efforça d'assortir les constructions à ce propulseur; mais, par sa disposition et son genre d'action, il excluait en grande partie les qualités du navire à voiles, et il entraîna toujours à les négliger pour ne devoir la vitesse qu'au seul moteur mécanique. On fut dès lors porté à partager les navires en deux classes distinctes, ayant chacune ses qualités et ses défauts. D'un côté, l'impossibilité de se mouvoir pendant le calme et de faire route dans la direction des vents contraires; de l'autre, la nécessité de brûler constamment de grandes quantités de charbon, et, par suite, l'obstacle aux

longues traversées et au transport des marchandises ou des armements de gnerre. Les navires à vapeur n'en furent pas moins adoptés; et après avoir été bornés à de courts trajets, ils franchirent l'océan Atlantique, et bientôt ils parcoururent des lignes directes jusqu'aux parties les plus éloignées de la terre. Les paquebots étaient arrivés à des résultats très-satisfaisants; il paraissait n'y avoir plus que des détails d'exécution à apporter à leur ensemble, et on n'avait guère à leur reprocher que leurs énormes dépenses. Il n'en était pas de même des navires de guerre : les roues laissaient forcément une partie de l'appareil moteur exposé à la destruction par le choc des boulets; elles remplaçaient sur les côtés les canons des navires à voiles et ne permettaient d'en avoir qu'une petite quantité. Aussi, malgré leur grande valeur pécuniaire, les bâtiments à vapeurs à roue n'étaient nullement des navires de combat; on ne se le dégnisait pas, et les divers efforts tentés pour leur trouver un armement convenable pronvèrent assez combien ils possédaient peu les conditions nécessaires pour la guerre (page 346). Aussi, cette foule de vapeurs à roues ne saurait être comptée que comme le train des équipages de la marine, uniquement propre aux transports, de même que les prolonges de l'armée. Leur rôle a décliné en raison de l'élévation de celui des vaisseaux mixtes, et ce matériel considérable et dispendieux est devenu, pour ainsi dire, une snperfluité dans la composition de la flotte. Tel est, en fait d'inventions, le cours des choses, et les gouvernements sont plus exposés à en souffrir qne les compagnies industrielles, en ce qu'ils possèdent un matériel beancoup plus considérable et qu'ils sont dans l'impossibilité de l'aliéner. Aussi, on peut établir que les perfectionnements leur sont très-onéreux, et les navires à vapeur en ont été une preuve continuelle depuis leur première adoption. Des vitesses de sept nœuds furent regardées comme très-satisfaisantes et on se contenta d'appareils pesant de 1000 à 1200 kil. par cheval. En augmentant les dimensions, on arriva à des vitesses d'expérience de 11', mais sans rendre les machines plus légères; lorsque l'adoption des chaudières tubulaires, à pression un peu plus élevée que celles à carneaux, et celle des appareils moins compliqués, firent obtenir des vitesses jusque-là impossibles et jetèrent les anciennes machines dans la médiocrité, pour y être bientôt entraînées elles-mêmes par de nonvelles inventions. C'est ainsi, et par nne fatalité inévitable, que le matériel des machines n'a vraiment de bon que ce qu'il a de neuf, et qu'il devient très-dispendieux à cause de cette recherche dn mieux à laquelle se livrent incessamment toutes les nations.

Au moment où les machines à roues à aubes arrivaient à produire des résultats satisfaisants, l'hélice, après des essais nombreux, mais ignorés, vint montrer ses avantages et les prouver par le voyage de *l'Archimède* autour de la Grande-Bretagne (page 29). Dès qu'on crut son usage possible, elle devint l'objet des espérances de tous les marins, surtout pour les navires de guerre. Plongée sous l'eau, elle fit receler le moteur mécanique au fond de la cale, le rendit invulnérable et produisit ainsi des navires que rien ne saurait arrêter, ni même entraver dans leurs mouvements. Elle dégagea les flancs pour permettre de les garnir de canons d'une manière aussi complète que l'ancien vaisseau. Sous le rapport marin, elle permit de reprendre une voilure entière, et son action n'étant jamais influencée par les inclinaisons, elle ne gêna plus la marche, comme les roues à aubes.

C'est alors qu'on a pu se dire : Nous possédons à peu près la perfection pour les navires à voiles; s'il n'en est pas tout à fait de même des machines, nous pouvons cependant prétendre à d'assez beaux résultats pour compter sur cette nouvelle force; unissons-les, et nous aurons la machine de guerre et de mer la plus parfaite. Rien n'était plus juste; mais pour l'exécuter il se présentait de grandes difficultés, au moins pour le navire de guerre; car, pour celui du commerce, la question se bornait à savoir lequel des deux propulseurs permettrait de transporter les marchandises à meilleur compte. Ce n'était qu'à force de perfectionner qu'on était arrivé à disposer tout dans un vaisseau pour que ses étages de canons fussent équilibrés par les approvisionnements; chaque objet avait sa place, rien n'était imprévu, et maintenant il s'agissait de prime abord d'introduire dans l'intérieur un grand appareil mécanique, des chaudières d'un volume énorme et un approvisionnement de charbon considérable. La machine à vapeur, quoique perfectionnée, ne s'assortissait pas non plus au nouveau propulseur; la vitesse de piston admise n'était pas assez rapide pour empêcher de recourir à des engrenages; de sorte qu'au poids du mécanisme il fallait ajouter celui de larges roues dentées. Il n'est donc pas étonnant que, si la possibilité de réunir tout dans le même navire se présenta à quelques esprits éclairés, les difficultés de l'exécution aient pendant quelque temps empêché de réaliser ces espérances.

Dès les premières expériences de *l'Archimède*, il fut reconnu que les deux moteurs, la voile et la vapeur, loin de se nuire, agissaient ensemble avec plus d'avantages au moyen de l'hélice. Il était loin d'en être de même avec les roues qui, gênées dans leurs mouvements par les incli-

naisons, empêchaient d'établir beaucoup de voiles; tandis que le navire, encombré de ses tambours, n'avait pas la forme voulue pour bien utiliser le vent (page 352). Aussi, on s'aperçut bientôt, et l'expérience le prouve tous les jours davantage, que, tandis que le navire à roues navigue mieux à la vapeur sans ses voiles et mieux à la voile sans sa machine et ses roues, celui à hélice, au contraire, utilise mieux son hélice avec le secours de ses voiles et tire plus de parti de ces dernières, grâce à son propulseur. Il est prouvé que, dans l'un des deux modes d'employer la vapeur, les deux moteurs se font tort, tandis que dans l'autre ils se favorisent. Aussi, dès que des expériences comme celles du *Rattler* et de *l'Alecto* (page 60), du *Niger* et du *Basilick* (page 66), et du *Napoléon* de M. Normand (387), eurent prouvé que, bien que peu étudiée encore, l'hélice était mécaniquement un aussi bon moyen de propulsion que les roues, il n'y eut plus à hésiter, et l'opinion fut assez formée pour qu'en France on ne fît pas les expériences comparatives auxquelles *le Chaptal* était destiné dans l'origine, mais qu'on entreprît aussitôt sur le nouveau propulseur des études approfondies (pages 88 et suiv.).

Les admirables résultats obtenus au moyen de l'hélice et la transformation des marines militaire et marchande présentent le fait maritime le plus remarquable de notre époque; mais ils produisent cependant une impression pénible sur le marin : son beau métier est dépoëtisé. S'il n'est plus exposé à des dangers aussi grands, il n'a plus ces chances si variées de la navigation avec les voiles seules; ces alternatives continuelles du sort contre lesquelles il s'était habitué à lutter. Tout le vague de la navigation et des variations continuelles du vent ont cessé; les calculs et les hypothèses variées, tout cela disparaît devant la régularité des machines. Certes, les avantages que l'on retire de ces dernières sont trop grands pour qu'il y ait lieu de regretter le passé; mais, tout en les adoptant, je ne puis m'empêcher de jeter un coup d'œil pénible vers ce passé plus poétique, lorsque je vois le navire actuel amené à suivre la ligne droite avec presque autant de régularité que la locomotive qui glisse machinalement entre ses rails. Quel contraste avec les voyages de découvertes!

Les nouvelles conditions respectives des deux moteurs se prêtent à toutes les combinaisons : le rapport de la force de la machine au tonnage n'a plus les mêmes règles que lorsque la vapeur était nécessairement le moteur principal, et l'hélice remplit encore un rôle utile en ne faisant filer que quatre ou cinq nœuds dans les calmes, et en permettant, par le peu de volume de sa machine, de ne presque rien changer dans l'ancien na-

30

vire. Ce fut quelquefois même sous ce point de vue qu'elle fut d'abord considérée; on la regarda comme auxiliaire. Mais le désir de marcher plus vite porta aussitôt à augmenter sa puissance, et les rapports de cette dernière au tonnage sont devenus tellement variés qu'il n'y a plus de termes nettement définis pour les exprimer. Cependant on était d'abord convenu de conserver le nom de navire à vapeur à celui qui, poussé par l'hélice, devait son maximum de vitesse au moteur mécanique, et de nommer naviro mixte celui dont la marche la plus rapide était due aux voiles. Mais le vaisseau *le Napoléon*, en filant treize nœuds avec sa machine, tout en conservant sa mâture, est venu présenter un nouveau type en dehors de cette classification; et je crois que maintenant il convient de donner le titre de navire mixte à celui qui a conservé une belle marche à la voile, quelle que soit celle imprimée par la machine; le Vapeur proprement dit n'étant plus dès lors que celui dont les voiles ne jouent qu'un rôle insignifiant, quel que soit du reste son propulseur.

On voit, d'après ce qui précède, et plus encore par l'expérience que nous avons tous des roues, qu'un navire réellement mixte, c'est-à-dire conservant les qualités de la voile intactes et y ajoutant celles d'un moteur mécanique, était impossible avec les aubes; on n'avait pas même songé à le tenter et on s'était borné à des voilures purement auxiliaires, sans obtenir avec la vapeur des vitesses assez grandes pour être sûr de n'être jamais gagné par les navires à voiles. Il n'est donc pas étonnant que, dès que l'hélice, par sa position sous-marine, a donné l'espoir de réunir utilement les deux moteurs, tous les marins aient souhaité cette réunion des deux moyens de mouvement les plus puissants et l'aient considérée comme le perfectionnement le plus heureux et le plus important de notre époque. Mais on n'y est arrivé qu'en tâtonnant, et ce sont surtout les navires du commerce qui ont ouvert la voie, parce que, pour eux, la question était moins difficile et moins complexe que pour les navires de guerre. En effet, ils emploient le fer qui, par la liaison parfaite de toutes ses parties, permet d'atteindre des longueurs relatives impossibles avec le bois; leur chargement, étant dans la cale, se trouve naturellement disposé selon les déplacements des tranches; car là où il n'y a pas d'eau déplacée, on ne saurait trouver d'espace pour mettre des marchandises. Le vaisseau a au contraire ses canons distribués d'un bout à l'autre et ses extrémités chargées de poids si considérables que, malgré la concentration de tout ce que l'armement présente de plus lourd, il

a toujours pris de l'arc, c'est-à-dire que ses extrémités se sont affaissées. On n'osait donc pas, dans le principe, allonger une charpente qui fléchissait avec les anciennes dispositions et que l'addition de liaisons en fer ne consolidait qu'imparfaitement. Il est donc naturel que le commerce ait pris les devants, quoiqu'il trouvât beaucoup moins d'avantages dans l'adoption de l'hélice, puisqu'il ne lui est pas nécessaire d'enfoncer son moteur dans la cale pour le mettre à l'abri du boulet. Il employa le nouveau propulseur parce qu'il était plus marin et permettait par conséquent de mieux utiliser les voiles qui, si elles ne sont pas un moteur certain, n'en sont pas moins toujours le plus économique. Aussi, en Angleterre le commerce obtint les avantages remarquables relatés dans l'ouvrage de M. Bourne, et depuis il a dépassé ces premiers essais et a employé l'hélice pour les navigations les plus lointaines et sur des navires d'un grand tonnage, mais toujours en fer (voy. pages 376 et suiv.).

Pour les navires de guerre le problème a été moins bien posé, tant parce qu'ils sont en bois et chargés dans les hauts par leur artillerie, que parce qu'il est très-difficile d'en bien définir les conditions, tant elles sont variées. Tandis que pour le commerce, la question revient toujours en fin de compte au doit et avoir; on est donc bientôt fixé sur ce qu'on veut et sur ce qu'on peut. Il n'en est pas de même pour le bâtiment de guerre, à cause de l'incompatibilité de plusieurs conditions. Ainsi on possède un tonnage déterminé : le navire ne peut porter davantage ; comment dès lors faire la part à chaque chose? car la vitesse à la vapeur a son poids, c'est la machine; l'armement a le sien dans l'artillerie; l'usage de la voile dans la mâture; la durée de la marche à la vapeur dans le charbon, et celle des absences dans les vivres. Il en résulte donc que si on veut être très-rapide, il faut être très-faible et ne pas aller loin; car le navire le plus prompt serait celui qui n'aurait d'autre chargement que sa machine. Si on veut être fort, on ne peut plus aller ni vite ni loin; l'artillerie, les hommes et les vivres ont pris une partie du poids; enfin si on a l'intention d'aller loin à la vapeur, on n'est plus ni fort ni rapide. De ces trois conditions inverses présentées ici d'une manière un peu trop explicite, puisque toutes les machines n'ont pas le même poids pour la même force, il résulte une contradiction inévitable et qui porte toujours à sacrifier une chose aux dépens de l'autre. Si on a paru s'éloigner de cette règle naturelle, c'est uniquement parce qu'on a fait des navires beaucoup plus grands (voir page 145), et qu'on en a tiré un avantage pour placer de plus fortes machines et avoir une meilleure marche;

d'un autre côté les appareils ont atteint une grande légèreté et ont occupé un espace plus petit que les anciens (voy. page 367). Il paraît donc qu'on doit être d'autant plus faible qu'on est plus rapide; et si sur un vaisseau qui file 12 nœuds à la vapeur, les 1160 tonneaux consacrés à sa voilure, à son artillerie et à ses munitions de toutes sortes, étaient réduits à la moitié, il y aurait près de 600 tonneaux à consacrer à la vitesse, c'est-à-dire à la force motrice, et ce seraient près de 1000 chevaux de plus. Le nouveau navire filerait 14 nœuds, il ne serait donc pas gagné par l'ancien. Mais quoiqu'il ait coûté beaucoup plus, sa force militaire serait réduite de la moitié; il aurait donc perdu pour l'attaque ce qu'il aurait gagné pour la fuite; car une fois engagé, sa force mécanique ne joue plus un rôle utile, il n'y a que celle des canons. Il est vrai qu'il attendrait impunément les faibles en présence des forts. Il y a donc deux éléments de force sur mer, l'artillerie et la vitesse : chacun est assorti aux conditions spéciales des nations et a ses qualités ou ses inconvénients. Il en est de même de tout, et si la vapeur nous a donné des avantages, elle nous en a retiré aussi de très-grands : les croisières éloignées contre un commerce riche et disséminé dans tout le globe, nous sont maintenant presque interdites : où ferions-nous du charbon?

Les conditions du nouveau vaisseau sont donc beaucoup plus complexes et difficiles à définir que celles de l'ancien : pour celui-ci, porter le plus de canons et de vivres possibles, bien marcher à la voile, et surtout bien évoluer, étaient les seules qualités à prétendre. Il n'est donc pas étonnant que les nouvelles constructions aient été précédées de doutes et de tâtonnements prolongés; en effet les machines à hélice sont restées longtemps à l'état d'essai, et s'il était à espérer qu'elles satisferaient un jour au nouveau but, il n'en était pas moins impossible d'établir des plans définitifs avant qu'elles eussent indiqué l'espace qu'elles occuperaient, et les sacrifices qu'elles entraîneraient. Aussi, on ne fit d'abord que de petits navires auxquels l'hélice était peu assortie : car dès qu'on n'est pas fort en artillerie, on ne peut se battre avec les navires à voiles, et l'hélice perd son plus grand avantage, puisque la petitesse du tirant d'eau empêche de mettre l'appareil assez bas pour être à l'abri du boulet. On fit même encore des navires à roues quand on sentait que ceux à hélice seraient seuls propres à la guerre : mais la manière de disposer ces derniers était encore inconnue. Il est pourtant étonnant qu'après l'essai heureux en France de *la Pomone*, et de l'*Am-*

phion en Angleterre, on soit resté si longtemps sans rien entreprendre dans nos ports, et qu'en Angleterre on se soit borné aux vaisseaux nommés *Guard Ships*, qui, malgré leurs résultats médiocres, firent naître de grandes expérances et se montrèrent déjà comme les machines de guerre les plus redoutables. Presque tous les essais de ces premières époques furent malheureux : on employa souvent le fer pour la construction des coques; mais bientôt les expériences faites à bord de *l'Excellent* en Angleterre, et celles de *Gâvre* en France, montrèrent les effets destructifs des boulets sur les tôles. Il fallut donc en abandonner l'usage presque aussitôt après son adoption. Les formes des navires de guerre à roues furent conservées pour les constructions destinées à l'hélice, quoiqu'il n'y eût plus la moindre analogie dans les propulseurs ni dans les armements; on eut à subir une assez longue période d'essais et d'inertie. Cependant le gracieux paquebot nommé d'abord *le Napoleon* (387 et suiv.), qui restera toujours un excellent modèle, avait ouvert la voie en montrant le type des nouvelles constructions, et il est étonnant qu'il ne fût pas aussitôt imité, au moins pour des croiseurs et des avisos.

AVANTAGES DES GRANDES PUISSANCES.

Ce fut après le temps d'arrêt, dont il vient d'être question, qu'on se remit à l'œuvre, et qu'en France on construisit *le Charlemagne* et *le Napoléon;* ce dernier était l'entreprise la plus hardie de l'époque, car il était destiné à dépasser les paquebots les plus rapides. Il renversait presque les idées reçues et surtout les relations naturelles entre la vitesse et la force, puisqu'on était fondé à croire impossible la réunion de ces deux qualités. Ce fut cependant ce que M. Dupuy de Lôme eut la hardiesse de concevoir et le mérite d'exécuter à une époque où rien encore n'en avait fait entrevoir la possibilité, et où les machines directes, légères, et occupant peu de place, n'étaient pas assez éprouvées pour qu'on osât lui en permettre l'adoption. Aux difficultés nouvelles, il y eut donc encore à ajouter celles d'un appareil moteur plus volumineux et plus lourd; et si la réussite du *Napoléon* a été complète et a étonné le monde marin, elle sera certainement dépassée par de nouvelles constructions du même genre, dont les moteurs seront mieux disposés. Si l'hélice a ouvert une ère nouvelle au navire de guerre, *le Napoléon*, en réunissant tout, force et vitesse, l'a d'un premier jet amené à une

perfection inattendue. L'énormité de la valeur première et de la dépense journalière de pareils vaisseaux a naturellement effrayé, et elle a servi de base aux objections élevées contre leur adoption ; elle l'aurait même entravée si une autorité éclairée n'avait pressenti tous ses avantages. Et en effet, ces grandes machines de guerre sont d'un usage moins dispendieux qu'on ne se le figure généralement : la puissance qui les entraîne agit aussi faiblement qu'on le veut, et dès que son énergie est diminuée elle devient une source d'économie. Les exemples sont si nombreux maintenant, qu'il y a lieu de s'étonner qu'on ne reconnaisse pas encore généralement cette vérité, que qui peut plus peut moins, et que sur mer il y a toutes sortes d'avantages à faire moins, puisque par la détente, la combustion plus modérée des foyers, l'étendue relativement augmentée du propulseur et plusieurs autres causes, on dépense dans une proportion beaucoup moindre que la réduction de force, et surtout que celle de vitesse.

Qu'il soit permis à ce sujet de citer un fait récemment observé. *Le Napoléon* remorquait *le Jean-Bart* contre une brise fraîche ; il n'avait que la moitié de ses feux allumés, et les deux vaisseaux ne filaient que 3',5 ; le loch était jeté par *le Jean-Bart*. On alluma tous les foyers et la vitesse s'éleva aussitôt à 8',5 et à 8',8. Considérant que le déplacement des vaisseaux est resté le même dans les deux cas, et qu'en allumant tous ses feux, *le Napoléon* a consommé tout au plus le double, on trouve pour l'utilisation en charbon (page 385), que c'est comme $\frac{3,5^3}{1}$ à $\frac{8,8^3}{2}$, c'est-à-dire comme 44 à 340, ou comme 1 à 7,6. Il en résulte que l'utilisation du *Napoléon* était plus que sept fois plus grande en développant toute sa force. Mais on peut objecter que s'il n'y avait pas nécessité de marcher vite, on aurait pu se contenter de 3',5 à l'heure. De la sorte, la quantité de charbon brûlé pour faire le trajet eût encore été plus considérable ; car si la consommation était doublée dans le même temps, la durée de la traversée était diminuée dans la proportion de 3,5 à 8,8, ou de 1 à 2,5. Il est donc incontestable que si une grande puissance est économique quand elle est modérément employée dans les circonstances favorables, elle l'est également quand elle déploie toute son énergie contre de grands obstacles. D'autres résultats de remorquage du *Jean-Bart* par *le Napoléon* montrent des faits aussi remarquables. Ce dernier n'ayant que la moitié de ses feux allumés, et ne brûlant par conséquent pas beaucoup plus que le *Jean-Bart* à toute volée, faisait néanmoins

filer 8 nœuds aux deux vaisseaux. Si on admet que de la sorte il brûlât 50 tonneaux par jour, on voit que la somme des déplacements des deux vaisseaux est de 9120 tonneaux, et que pour 8 nœuds de vitesse et 2083 kil. de charbon brûlé par heure, l'utilisation est 107,3. Avec tous les feux et brûlant 100 tonneaux, les deux vaisseaux filaient 10 nœuds, et l'utilisation était encore 104,8, mais le mille parcouru coûtait plus (voy. tableau VII). Il est en outre à remarquer que *le Napoléon* avec la moitié de ses feux, c'est-à-dire brûlant un peu plus de ce qu'aurait consommé *le Jean-Bart* seul, les entraînait contre une brise fraîche, avec une vitesse de 8 nœuds, c'est-à-dire un nœud de moins seulement que la vitesse maximum du *Jean-Bart* avec du calme.

Tous ces faits, et beaucoup d'autres qu'il serait inutile d'entasser, montrent évidemment l'avantage des grandes puissances. Tout doit donc tendre à augmenter la force des machines jusqu'aux limites du possible, suivant les navires, leur armement militaire et la nature de leur appareil. Si ces idées commencent à se faire jour maintenant, il n'en était pas de même il y a peu d'années, et il a été encore plus hardi de les proposer une première fois. Aussi la marine française doit une grande reconnaissance à M. Dupuy de Lôme qui les a conçues et qui a aussi bien réussi à les exécuter.

L'emploi d'une machine puissante entraîne à de telles dépenses que bientôt les ressources seraient épuisées : il faut donc en user rarement. Mais il y a en navigation, et surtout en escadre, beaucoup de circonstances, où il suffit seulement de changer de place pour se maintenir à son poste, et où on ne voudrait pas allumer une partie de l'appareil évaporatoire pour mettre la machine en mouvement. Pour avoir, dans ce cas, une petite puissance disponible, on avait eu l'idée d'employer les deux petits chevaux à mouvoir l'hélice. Il semble y avoir là une sorte de contradiction : on désire de grandes puissances et voilà qu'on en veut une très-petite; mais cette contradiction n'est qu'apparente puisque la grande force épuise les ressources et a des limites au-dessous desquelles elle ne saurait descendre sans désavantage. Il m'a semblé que si une telle disposition était utile dans quelques cas, elle aurait l'inconvénient soit de répandre constamment de la fumée sur le gréement et les voiles, soit de n'être jamais prête à temps; c'est ce qui m'avait engagé, au mois de mai 1852, à remettre à l'amiral Hamelin, alors préfet maritime de Toulon, la note ci-jointe sur l'emploi accidentel du cabestan.

EMPLOI ACCIDENTEL DU CABESTAN.

J'ai songé à suppléer en partie à ce qui manque encore au navire mixte, c'est-à-dire à étendre son rayon d'action, en économisant dans certains cas le moteur mécanique, dont l'emploi est si limité par le manque du combustible. En effet, si on est parvenu avec tant d'art à placer une machine auxiliaire dans un vaisseau, sans diminuer ses qualités nautiques ni ses ressources en hommes et en munitions, ce n'a été qu'en ne permettant à l'appareil d'agir que pendant cinq ou six jours, limite d'action bien petite, si on la compare à l'absence de trois mois que permet l'approvisionnement de vivres. Or, puisque le charbon est nécessaire à la machine, il forcerait à relâcher, tandis que les vivres et même l'eau distillée par les réfrigérants permettraient de rester sous voiles plus longtemps. Il y a donc là une inégalité dans les ressources qui n'est diminuée que parce que la machine n'est pas indispensable à bord d'un tel vaisseau : mais elle n'en est pas moins très-utile, et la preuve c'est qu'on l'a mise à bord. Or, dès que le charbon manque, elle devient un poids et un encombrement nuisibles. Certes, sur le navire mixte l'appareil moteur n'est pas, comme sur celui à vapeur, aussi important que la poudre et les boulets; il ne l'est même autant que la mâture qu'au moment d'une rencontre; mais il est des cas où il est tellement appelé à suppléer à cette dernière et à ses voiles, que son importance militaire et nautique ne saurait être niée. Bref, c'est pour cela qu'il a été ajouté aux anciennes ressources du navire. Économiser le combustible est donc de la plus haute importance, et s'il est indispensable de brûler du charbon pour une marche prolongée, puisque la machine ne se fatigue pas; il est loin d'en être de même dans une foule de circonstances de mer de peu de durée. Je pense donc que la force motrice de l'équipage agissant sur le cabestan, serait une ressource précieuse pour changer de place dans une rade et surtout pour tenir son poste en division. Quand le calme met le désordre dans les positions, quelques tours de cabestan feront parcourir une ou deux encâblures, rétabliront la distance et surtout éviteront toute chance d'abordage. Dans un appareillage, l'abattée sera certaine et l'acculée presque nulle; enfin, dans un louvoyage, l'air du navire et l'action du gouvernail seront conservés, assureront le virement de bord et feront gagner davantage au vent. Certes, en faisant une seule fois chapelle, l'équipage aurait plus de travail manuel, qu'en faisant une dizaine de tours de ca-

bestan à chaque virement de bord. Les circonstances dont je parle se présentent souvent à la mer et sont presqne toujours imprévues; elles ont toutes peu de durée, et cette condition est évidemment la seule appropriée à l'emploi du cabestan; car, loin de moi la pensée de l'appliquer à des traversées : ce serait renouveler les anciennes galères et cela présenterait le comble de l'absurdité à l'époque où la vapeur procure une force infatigable. Mais cette dernière est loin d'être toujours en état de fonctionner, il lui faut deux heures et brûler plusieurs tonneaux de charbon avant d'agir. Vouloir qu'elle soit toujours prête consommerait inutilement les ressources et couvrirait les voiles et la mâture d'une fumée constante. En outre, les allumages fréquents nuisent beaucoup aux chaudières et chaque fois qu'on les remplit d'eau, on peut dire que leur durée est diminuée de quinze ou vingt jours; elle dépérissent donc plus vite et entraînent à de grandes dépenses et au chômage du vaisseau pour les changer.

A bord des navires dont l'hélice se démonte, ce que je propose perd en partie son utilité, en ce que la mise en place de l'hélice ne peut s'opérer aussi vite que de mettre les barres au cabestan : mais avec l'hélice fixe, tout est constamment prêt. En outre, comme celle-ci s'arrête d'elle-même, à un certain point de ralentissement du navire, il en résulte que ses ailes présentent un obstacle au gouvernail, précisément à ce moment d'incertitude où le navire, arrivé vent devant et privé de vitesse, ne sait pour ainsi dire de qnel bord il viendra et où la réussite de l'évolution semble livrée au hasard. Bien qu'avec les dispositions de M. Dupuy de Lôme la résistance de l'hélice soit *sensiblement nulle*, il est à présumer que si un vaisseau manque souvent à virer, soit par de mauvaises qualités antérieures, soit par la maladresse de ceux qui le manœuvrent, on en rejettera certainement la faute sur l'hélice; son action sera regardée comme *nuisible*, tandis que quelques tours de cabestan la rendraient *utile*.

Si je suis parvenu à faire comprendre l'utilité d'un moteur faible, *mais toujours prêt à agir, sans user aucune des ressources du vaisseau*, il me reste à faire voir combien il est facile de l'obtenir sans occasionner de fortes dépenses ni de poids notables; sans cette simplicité, l'objet serait manqué, puisqu'il n'a pour but que des circonstances, fréquentes il est vrai, mais de peu de durée.

Voici donc ce que je proposerais :

Monter, sur une des parties libres de l'arbre de l'hélice, une couronne barbottin pour le grelin-chaîne du bord, de manière qu'elle tourne li-

brement. Devant et derrière cette conronne, placer deux plateaux fixes chacun sur l'arbre et laissant entre eux assez d'espace pour que le barbottin se place à volonté entre les deux, sans les toucher. Les parties en regard du barbottin et de chacun des plateaux auraient des dents obliques renversées : celles de l'avant pour marcher en avant, par exemple, celles de l'arrière à l'inverse. Bref, ce serait comme deux clefs Bréguet, l'une dans un sens, l'autre dans l'autre. Il s'ensuit qu'en portant avec une fourchette (comme celles à changer les courroies dans les ateliers) le barbottin vers l'avant ou vers l'arrière, il entraînerait l'hélice dans le sens convenable, et si le navire, prenant trop d'air, venait à marcher plus vite que le cabestan, les dents courraient comme celles de la clef Bréguet, et indiqueraient que le courant d'eau le long du bord fait marcher l'hélice. De la sorte, les hommes ne risqueraient jamais d'être entraînés, comme avec un mode de réunion fixe, et quand le barbottin serait au milieu, l'hélice serait naturellement folle ou entraînée par la machine. Quant au renvoi de mouvement du cabestan au barbottin, il se ferait au moyen d'un bout de grelin-chaîne engrené sur la couronne du cabestan de l'une des deux batteries et sur le barbottin de l'arbre, et ayant sur le bord du panneau deux rouleaux de retour fendus pour l'allée et le retour de la chaîne dans tous les sens.

Le poids de cette addition serait peu considérable ; car, d'après le rapport des vitesses du cabestan et de l'hélice avec deux nœuds et demi ou trois nœuds de marche, il faudrait que le diamètre du tourteau fût très-petit. En outre, ces parties n'auraient pas besoin de la solidité de celles du cabestan, puisqu'elles n'ont pas à supporter des coups de force sur une résistance inerte, comme pour déraper ; mais que l'eau, en cédant, rend tout effort élastique et de peu de résistance.

Le cabestan du *Montebello* a 38 barres à 5 hommes par barre et, au besoin, 1 sur la filière ; cela fait 190 à 228 hommes. Or, d'après les expériences dont les résultats sont donnés dans les tables de M. Morin, 1 homme poussant ou tirant de bricole pendant 8 heures par jour équivaut environ à $\frac{1}{10}$ de cheval-vapeur. La puissance du cabestan représente donc 19 à 20 chevaux-vapeur. C'est bien peu, mais pourtant c'est suffisant pour filer près de trois nœuds : car si la machine de 120 chevaux, destinée au navire, fait filer 5 nœuds, il résulte du rapport des vitesses en raison des cubes des puissances que les 20 chevaux du cabestan feront parcourir trois nœuds. Cela du reste se rapporte à ce qu'a fait en 1820 une frégate anglaise, sur la rade de Naples, avec un arbre de bois et des pro-

cédés de renvoi de mouvement beaucoup plus grossiers que ceux employés maintenant. On raconte, il est vrai, qu'une partie de l'équipage déserta; mais, si ce fait est exact, on peut l'attribuer à un abus du travail des hommes qui n'est point dans nos habitudes; et, avec l'embarquement du charbon, le travail des soutes et le nettoyage qu'entraîne un chauffage, il est probable que si, d'un côté, il y a le travail du cabestan pendant quelques minutes, de l'autre, il y a bien des peines de détail épargnées.

J'ai vu tant de circonstances de mer, où il eût été si utile de faire deux ou trois encâblures pour assurer le salut du navire, que le souvenir des échouages et des passes difficiles me faisait depuis longtemps sentir la nécessité d'appliquer utilement la force musculaire de l'équipage. Les dangers éprouvés dans plusieurs parages avec la frégate *l'Artémise* m'avaient même amené à présenter un projet à ce sujet à M. Boucher. Il consistait en des sortes de pattes de canard dans le genre de celles imaginées par M. Janvier, mais ayant moins de frottement et plus d'étendue d'action. Elles devaient être situées d'habitude dans le grand panneau, être mises en place par des bouts de vergues et être mues par des tourteaux-barbottins entraînés tous deux par une même chaîne sans fin. Tout cela eût été très-léger, mais exigeait deux trous dans la muraille et le déplacement momentané de deux ou quatre canons : en outre, il fallait le mettre en place. Aussi l'application de l'hélice m'a fait renoncer à ce projet, parce qu'avec elle et le renvoi de mouvement proposé, tout est constamment prêt et n'exige qu'un coup de sifflet.

J'ai communiqué mes idées à M. Dupuy de Lôme; il en croit l'application facile à bord du *Montebello*. Aussi, amiral, au lieu de vous en présenter un plan détaillé, je crois préférable de me borner à exprimer les idées du marin sur cet objet et à laisser le soin de l'exécution à M. Dupuy de Lôme qui, chargé du *Montebello*, saura facilement assortir ce que je propose aux dispositions intérieures du vaisseau.

CONDITIONS DES NAVIRES A GRANDE VITESSE.

On a vu combien les vaisseaux à grande vitesse sont avantageux, et on est porté, d'après cela, à se demander pourquoi ne pas leur donner à tous de puissantes machines. Mais pour arriver à ce but, il faut des constructions nouvelles, des tonnages plus considérables et de plus grandes longueurs comme le montre la comparaison du *Napoléon* avec les autres vaisseaux. Il faudrait donc détruire la moitié des construc-

tions à flot ou sur cale pour les allonger par le centre et rendre leurs extrémités plus fines. Car l'allongement seul ne suffit pas, et avec la moindre mer nos gros avants seraient une cause de perte de marche et de déliaison de toute la charpente. Un navire long ne doit pas tanguer; les constructions du commerce anglais en sont la preuve. Cette nécessité de tout modifier pour atteindre un sillage rapide amène naturellement à n'adopter ce dernier que pour les constructions nouvelles, et à se contenter de mettre des appareils aussi puissants que possible sur celles existantes, en se bornant à modifier l'arrière. C'est la transformation la plus économique et celle que la marine anglaise paraît avoir adoptée, quoique quelquefois elle ait en même temps allongé par le centre et affiné par les extrémités (364 et suiv.). Nous l'avons admise également pour des vaisseaux en chantier, et si elle a été moins dispendieuse à effectuer, on peut assurer à l'avance qu'elle coûtera plus à employer et que ces anciennes formes ne permettront pas d'utiliser à beaucoup près aussi bien le moteur mécanique; c'est-à-dire que, pour la même quantité de charbon brûlé et des tonnages égaux, la marche sera moins rapide (voy. le tableau VII et comparez *le Napoléon*, *le Jean-Bart* et *le Charlemagne*). Quoique consacrées par une longue pratique, ces formes ne permettront peut-être pas non plus de marcher aussi bien à la voile, et les clippers qui ont adopté les proportions des navires à hélice ont eu déjà un assez brillant succès pour établir l'opinion.

Lorsque l'ancien navire a simplement reçu un appareil moteur, il ne présente aucune différence avec ce qu'il était d'abord, comme bâtiment à voiles; mais il a de plus une ressource immense, achetée, il est vrai, au prix du sacrifice de la moitié au moins de ses approvisionnements. Il n'y a donc pas de doutes à avoir sur ses qualités comme voilier; mais il n'en est pas de même sur celles comme navire à vapeur, et, puisqu'il est appelé à naviguer des deux manières, tout doit tendre à ce qu'il le fasse aussi bien dans un cas que dans l'autre. On pourrait même dire que la marche à la vapeur est la plus importante : celle à la voile sert de moyen de transport lent, il est vrai, mais économique; tandis que celle par la machine convient essentiellement au combat. Si on peut s'exprimer ainsi, la voile sert à changer de garnison, à faire des étapes; mais la vapeur est le vrai moyen de combattre. Les anciennes formes des carènes sont peu propres à l'utilisation du moteur; il n'y a qu'à voir leur contraste avec celles des vapeurs et notamment avec celles des paquebots. Des nécessités devenues beaucoup moins impérieuses avaient longtemps forcé à

donner peu de longueur aux navires, et le rapport d'un à quatre était admis comme une limite au-dessous de laquelle on s'est même tenu quelquefois. Cette proportion restreinte était conservée dans le but d'assurer les virements de bord vent devant, condition indispensable dès que la voile est le seul moteur et qu'on navigue près des côtes ou en division. Un virement de bord manqué est souvent une cause de danger ou même de naufrage, et en escadre il occasionne toujours du désordre et des retards. Mais avec une hélice entraînée par la machine ou par le cabestan, on évoluera toujours avec certitude. Puisqu'on ne croyait pas pouvoir allonger le navire et que cependant on voulait déployer une vaste voilure, il fallait nécessairement accroître les mâts et les vergues; leur dimension ayant des limites naturelles, on a cherché à trouver de quoi présenter plus de surface au vent en donnant de la quête aux tableaux et beaucoup d'élancement aux poulaines pour porter un lourd beaupré et des focs. On a ainsi surplombé les extrémités qu'aucun déplacement d'eau ne soutient cependant, et augmenté la fatigue du navire et les chances de prendre de l'arc. Les anciens navires étaient loin d'être aussi élancés vers les extrémités; sous Louis XVI, les tableaux étaient encore presque verticaux et la poulaine n'était qu'une charpente légère et à jours. Pour avoir plus de toile, il faut de longues verges, et, pour que celles-ci ne se rencontrent pas en virant de bord, les mâts ont une distance voulue; celui de misaine est planté sur l'avant, dont les grosses façons rendent le navire très-ardent dès qu'il donne de la bande; pour compenser cet effet, il faut plus de toile de l'avant, et, comme elle le charge davantage, il est nécessaire, suivant l'usage, de le défendre encore plus; ces deux causes contradictoires ont réagi l'une sur l'autre et porté en même temps à faire des avants énormes et à les charger de voilure. On peut donc penser, en comparant ces dispositions à ce qui se fait de nos jours, qu'on s'empêchait de bien marcher pour se donner les moyens d'avoir de la vitesse. Afin de porter davantage et de payer des droits moindres, le commerce exagérait encore plus ces formes, et les Américains surtout en étaient venus à être carrés au niveau du pont, tandis qu'ils étaient fins dans l'eau. Tous les navires étant à peu près semblables et donnant des résultats satisfaisants, il a fallu une cause étrangère, celle de l'application de la vapeur, pour reconnaître qu'il y avait des défauts dans ce qui était généralement admis.

AVANTAGES DES EXTRÉMITÉS FINES.

Les paquebots surtout ont prouvé que les avants affinés de manière à diviser la mer au lieu de la refouler étaient la cause de marche la plus efficace; ils ont prolongé cette finesse jusqu'au plat bord afin que, contre une mer grosse, l'eau fût toujours divisée, même dans les moments où elle montait le plus haut. La lame ne rencontrant pas une surface opposée à son mouvement, ne jaillit pas, et surtout elle soulève moins l'avant; par conséquent, celui-ci retombe de moins haut et n'est pas arrêté par des chocs. Quand on songe à la dépense de force qu'il faut déployer pour mouvoir la masse d'un navire, on se fait aisément une idée de celle gaspillée à le faire tanguer, à faire osciller ses quatre à cinq mille tonneaux avec tant de rapidité, et cette force est naturellement prise en grande partie sur celle qui donne la vitesse; ce qui est employé au tangage est perdu pour celle-ci. De la sorte, on gravit sur la lame pour s'enfoncer au delà dans une masse d'écume, et tout ce qui est dépensé à produire cette écume est de la force perdue. Aussi, à chaque coup de tangage violent, l'air du navire est diminué, et on voit l'eau s'arrêter le long du bord, pour reprendre son cours dès que ce mouvement oscillatoire a cessé. A cela vient s'ajouter presque toujours la forme de l'arrière qui, fin dans l'eau, s'élargit tout à coup et présente une grande surface à la vague montante. On peut donc dire que l'avant et l'arrière se renvoient la balle, et cet effet sera très-sensible et très-fatigant pour la charpente à bord des navires allongés sans être affinés dans les hauts, surtout si, comme on l'a proposé, le dessous de la voûte a été plus rempli que d'habitude pour offrir à l'étambot un abri contre le boulet.

L'utilisation d'un propulseur est diminuée par les obstacles à la marche, de quelque nature qu'ils soient, et s'ils sont assez forts pour arrêter, cette utilisation est zéro. Le vent debout produit cet effet, et si, au lieu de cette direction défavorable, ce sont les formes qui s'opposent au sillage, le résultat est le même pour le propulseur. Au contraire, une brise favorable augmente l'utilisation puisqu'elle diminue l'obstacle, et, comme un avant fin est aussi avantageux à la marche, on est en droit d'établir que si de grosses façons équivalent à un vent debout permanent, celles à lignes effilées représentent une brise toujours favorable. Pourvu que la stabilité ne soit pas compromise, le navire long se trouve avoir dans l'eau un plan de dérive tellement étendu qu'il redoute moins l'action

latérale du vent sur les œuvres mortes, et sa longueur le faisant porter sur une plus grande étendue des lames exige assez de hauteur pour que l'eau n'embarque pas. Les navires de guerre sont naturellement si hauts sur l'eau, dès qu'ils ne descendent pas au-dessous des grands avisos, qu'il n'y a pas à se préoccuper pour eux de ces effets.

Il est très remarquable que ce soit le commerce qui ait pris les devants pour les grandes expériences de ces changements radicaux dans les formes : pourtant un essai infructueux est pour lui une perte et peut être une cause de ruine (voy. pages 376 et suiv.). Ce n'est certainement pas sans d'excellentes raisons que le commerce anglais, et depuis peu celui des États-Unis, ont fait des navires très-fins, pour se priver ainsi d'espace pour le logement, et d'un tonnage considérable; et qu'ils n'ont pas construit de longs tubes cylindriques, terminés par des avants et des arrières ordinaires : de la sorte ils auraient beaucoup plus porté pour la même maîtresse section, considérée comme l'obstacle au passage à travers l'eau. Ces nouvelles extrémités sont des appendices à l'ancienne construction, destinés seulement à mieux diviser l'eau et à ne pas tanguer, qui coûtent cependant fort cher et ne portent rien, d'autant plus que leur finesse de forme s'étend jusqu'au plat-bord. Il faut que ce soit ainsi, car si on n'est fin qu'à la flottaison pour être ensuite très-gros, ce qu'on appelle bien défendu, on n'a un sillage facile que de calme; avec de la mer, ces parties renflées passant une partie du temps dans l'eau, et la refoulant sur elle-même, pour la repousser au loin à cause de leur saillie, font perdre le grand avantage de la finesse inférieure. Le navire a des façons moyennes entre celles de la plus grande immersion et celles du moment où il est soulevé; par conséquent, si avec calme il tenait facilement un navire à façons fines jusqu'en haut, il perdra dès qu'il éprouvera des mouvements de tangage, et ce sera d'autant plus sensible qu'il sera plus long. Tout le bois placé dans les hauts pour rendre un navire bien défendu n'est pas porté par le déplacement du bas, puisque celui-ci est fin; il ne sert à soutenir le navire que dans les moments de tombée, où ce n'est pas nécessaire, et à le faire butter sur la lame avec presque autant de dureté que si c'était sur le sol. Il en résulte que l'arrière fouette et tend à rappeler sur cul plus violemment. Nous avons tous éprouvé de ces effets en luttant contre le vent et la mer, et souvent nous avons vu cette seule cause forcer à réduire la voilure, ou empêcher de déployer toute la puissance des machines.

Les nouveaux clippers, à voiles seules, même ceux construits en bois, ont obtenu des marches auxquelles on n'avait jamais cru arriver, et

puisque les qualités de bons voiliers s'accordent si bien avec l'emploi de l'hélice, tout doit tendre à les assortir le mieux possible. Les navires de guerre et ceux du commerce se sont ressemblés pendant des siècles, pourquoi différeraient-ils tant maintenant ?

Lorsque l'on considère les mouvements qu'éprouve à bord un baromètre suspendu sur son ressort à boudin, qui servirait de balance si on l'éprouvait, et qu'on remarque les flexions à chaque coup de tangage, on peut se faire une idée de la réaction violente que font les pièces de canon placées aux extrémités. J'avais eu l'idée d'observer ces effets au moyen d'un poids suspendu à un ressort éprouvé, et disposé de manière à porter un crayon pour décrire une courbe sur un papier tournant. En plaçant l'instrument à différentes positions du navire, on aurait vu de combien son poids faisait fléchir le ressort, et par conséquent quelle est l'augmentation de pression sur le pont due au poids d'un kilogramme et par suite à celui d'un canon. Je crois que sur un navire tanguant dur on trouverait des efforts très-considérables. Car si dans un coup de tangage on se sent rester en l'air, c'est qu'on a pesé d'autant plus sur le pont l'instant d'avant; il en est de même des canots qui se soulèvent et donnent du mou dans leurs palans. Cette réaction est, je crois, comme le carré de la distance au centre d'oscillation. Par conséquent les pièces du premier et du seizième sabord produisent sur le pont et sur toute la charpente une impression quadruple de celle du quatrième à partir du milieu, et si le navire est allongé cette cause augmente toujours comme le carré, tandis que la liaison est plus faible. Si *le Napoléon* n'était pas fin dans les extrémités, il fatiguerait beaucoup à la mer et aurait son sillage arrêté : mais il divise l'eau, il se fraye facilement une tranchée au lieu de gravir la colline que présente la lame. Le navire, fin jusqu'au plat-bord, conserve ses lignes d'eau naturelles, et ne passe pas en un instant de la forme du balaou à celle de la galiote. Quand un navire cule ou même reste en place avec grosse mer, quelles secousses violentes on éprouve en faisant jaillir l'eau; c'est que l'arrière très-fin dans l'eau n'est gros qu'en dessus de sa surface; on pourrait presque dire que c'est la défense exagérée.

Quand on plonge une gaffe dans l'eau, elle enfonce, puis remonte et arrive sans secousses à l'immobilité; l'inertie, qui l'a forcée à descendre trop bas et à déplacer plus d'eau que son poids, la fait remonter trop vite; elle s'émerge trop et retombe, et ce n'est que parce que le frottement de l'eau l'arrête que ces oscillations diminuent et finissent par cesser comme celles du pendule libre. Tout cela se passe sans chocs

et sans obstacles, aussi la force donnée par la chute est longtemps à être dépensée; tandis qu'en tombant une bouée frappe sur l'eau et s'arrête brusquement. Au contraire, lorsque cette gaffe n'a plus que sa pesanteur, et qu'il y a de la mer, celle-ci monte et descend le long de sa tige sans imprimer de mouvement, et cela parce que la forme régulière du manche et sa position verticale font qu'il y a peu de différence de déplacement, malgré les dénivellations de l'eau. Une bouée, au contraire, suit facilement l'impulsion de la vague montante et s'immerge en descendant, au point que la mer passe par-dessus. Si elle n'obéit pas complétement au mouvement, c'est que le poids et le frottement de son orin l'en empêchent. De même un avant fin jusque dans les hauts change peu de déplacement; il ne soulève pas trop le navire et ne le fait presque pas s'écarter de sa position moyenne malgré les ondulations de la mer; il n'éprouve pas non plus de chocs, puisqu'il divise. Au contraire, un avant gros, surtout hors de l'eau, se comporte comme une bouée, et détourne violemment le navire de sa position horizontale pour le soulever et le laisser retomber ensuite. On défend beaucoup les avants des gros navires, tandis qu'on ne le fait pas pour les goëlettes et les sloops, quoiqu'ils soient au ras de l'eau. Quoi de moins défendu que les yachts de plaisance des Anglais et les pilots boats? Il y a là une contradiction évidente. Avec un avant fin dans les hauts, le navire n'est jamais ardent, quelle que soit son inclinaison, puisque toutes ses lignes d'eau se ressemblent, et ne produisent pas cette différence si grande d'un avant ordinaire, qui devient fin au vent et très-gros sous le vent, dès que le navire penche.

Un nouveau principe fréquemment admis dans les constructions anglaises consiste à donner plus de déplacement, et par conséquent plus de pesanteur à la moitié de l'arrière qu'à celle de l'avant; il est contraire à ce qui est admis depuis fort longtemps. Les clippers et les vapeurs ont obtenu de bons résultats en adoptant cette modification importante; et j'avais été frappé de la voir employée par un peuple qui, s'il est ignorant, n'a pas moins un type remarquable de bon sens et d'observation dans tout ce qu'il fait. Je m'étais dit que ce n'était pas sans des raisons pratiques que tous les bateaux chinois avaient leur maître-bau si rapproché de l'arrière, et que celui-ci était très-gros, tandis que l'avant était fin. Ils semblent ainsi avoir imité les palmipèdes, qui tous ont leur plus grande largeur en arrière et sont dans des conditions plus analogues à celles des bateaux, puisqu'ils ne sont pas entièrement

plongés dans l'eau comme les poissons. J'ai souvent navigué sur des bateaux chinois avec gros temps, et j'ai admiré leur manière de s'élever sur la lame et de manœuvrer; j'ai remarqué que les tangages étaient moins violents et surtout qu'ils n'amortissaient pas l'air. En cherchant à me rendre compte de cette différence si marquée avec nos canots, il m'a semblé qu'elle était une suite naturelle de leurs formes. L'avant est aigu sans façons en rentrée ni en saillie; il est à faces presque planes, de sorte que sa section est un triangle aigu descendant jusqu'à la quille; l'étrave est vertical ou peu s'en faut. L'arrière, au contraire, a des sections presque circulaires; mais il abandonne la quille à partir du cinquième de la longueur et s'élève en formant une courbe : c'est une extrémité en forme de courge allongée. Il m'a parn qu'il résultait de cette grande différence de forme que la mer, arrivant sur l'avant, se divisait facilement et sans beaucoup soulever cette partie, puis qu'après avoir franchi le milieu et avoir atteint l'arrière, elle ne le soulevait pas non plus, mais qu'à mesure qu'elle montait, celui-ci s'élevait aussi; et s'il était atteint, il ne présentait qu'un plan incliné tendant à faire glisser le bateau de l'avant. Je ne sais si ces observations sont justes, mais elles m'ont très-souvent paru telles en contemplant les pêcheurs chinois avec grosse mer, à l'époqne où je m'occupais avec intérêt à recueillir les formes de presque tous les bateaux des pays lointains[1].

---

1. Pendaut que ce qui précède était à l'imprimerie, le journal industriel anglais l'*Artizan* a publié un article qu'il paraît convanable d'insérer ici, pour montrer que les idées que j'ose émettre sont adoptées en Angleterre. Voici la tradnction de ce qu'expose l'*Artizan* : « L'activité la plus extraordinaire continue toujours à régner dans nos établissements maritimes. Telle est celle des arsenaux royaux, que leurs autorités ont cru devoir recourir à l'assistance des chantiers du commerce. On éprouverait de la satisfaction à les voir sortir ainsi de leurs habitudes, si les constructeurs civils avaient été mis sur le même terrain que les ingénieurs de l'État, et s'ils avaient été appelés à construire, d'après des données générales de dimension, de manière à exercer leur jugement en établissant un plan. Nous accordons volontiers que dans les arsenaux on sait ce qui convient, mais nous n'admettons pas aussi facilement qu'on s'y soit élevé à la perfection désirable en fait de construction maritime. Nous sommes portés à faire cette observation, parce que nous avons eu le plaisir d'assister au lancement de la corvette à hélice de S. M. *l'Esk*, dans le chantier de M. S. Scott Russell, à Milwall, et de remarquer combien ce navire avait des façons pleines à l'avant, et, au contraire, effilées vers l'arrière, ou, comme on la dit quelquefois, une construction sur le principa (*cod's-head and mackerel-tail principle*). Mais nous avons appris plus tard qne ce nouveau bâtiment avait été construit sur les mêmes lignes que *le High-Flyer*, navire favori de la marine, qui probablement est actuellement à naviguer avec notre ami français *le Charlemagne*, sur la côte de Circassie.

« Les navires de la marine royale sont reconnus pour leur marche lente à la voile comme à la vapeur; si nous en exceptons *la Banshee* et quelques autres dessinés par M. Lang; tandis

On a été surpris de voir combien les navires à vapeur, et notamment ceux à hélice, viraient bien de bord vent devant avec leurs voiles seules, et pourtant leurs formes étaient, dans l'origine, loin d'être favorables à la marche : on leur avait donné de grosses façons pour porter l'artillerie, placée aux extrémités. Si un navire fin a une évolution plus longue, on peut dire qu'il l'a plus facile : puisqu'il n'est pas arrêté, sa barre continue son action ; tandis que nous avons tous vu souvent qu'un coup de tangage nous empêchait de venir vent devant et de virer, parce que la barre avait tout à coup perdu son effet. Les qualités, à la voile et à la vapeur, se tiennent de si près qu'à bien dire elles se confondent. Mais si celles à la voile ont leur importance, je crois que celles à la vapeur en ont encore plus, puisqu'elles jouent le grand rôle dans les circonstances les plus graves (476). Tout doit donc les favoriser, et c'est ce qu'a fait le commerce anglais. Aussi ses nouveaux paquebots ont-ils des utilisations

---

que nous n'avons jamais entendu dire qu'ils se comportaient mieux à la mer (*better sea going vessels*) que ceux de la marine marchande, dont tous les meilleurs se distinguent par leur avant effilé, et par un arrière aussi plein qu'il le faut pour laisser écouler l'eau environnante sans créer une résistance négative. Nous convenons qu'on ne saurait en faire une règle générale pour la construction de tous les vaisseaux, mais dans le cas de *l'Esk*, dont tous les canons sont montés en barbette, il ne semble pas démontré que la même forme de pont n'eût été conservée, si c'était nécessaire, tout en plaçant le centre de gravité en arrière du milieu et en l'assimilant aux façons des meilleurs vapeurs du commerce : d'autant plus que les constructeurs d'Amérique et d'Angleterre ont prouvé maintes et maintes fois que cette forme est la meilleure pour marcher rapidement à la vapeur et pour bien gouverner.

« Maintenant, si on considère qu'il existe une différence aussi radicale entre la pratique des plus éminents constructeurs du commerce et celle des ingénieurs des arsenaux royaux, et que les navires construits par les premiers sont en général supérieurs en vitesse, sans avoir de moins bonnes qualités nautiques, nous prétendons que si on a recours aux constructeurs particuliers, comme on le fait maintenant, il faut les laisser libres d'agir (d'après certaines conditions) pour le tracé de leurs navires, et cela dans le but de perfectionner plus tard la forme de nos bâtiments de guerre. Les mécaniciens sont ainsi laissés entièrement libres de combiner leurs appareils, et ont entre eux une émulation qui a produit beaucoup de perfectionnements dans les machines; il suffit, à ce sujet, d'observer que les flottes à vapeur n'ont été retardées par aucun accident dans leurs appareils.

« *L'Esk* est une corvette de 1153 tonneaux ; elle a $58^m,56$ entre perpendiculaires, $10^m,72$ de largeur extérieure et $6^m,91$ de creux. Les machines sont directes et oscillantes avec les cylindres placés à 45° et articulés sur la même manivelle. La poussée est reçue par une série de collets. *L'Esk* a été lancé à l'eau avec sa machine à bord, ce que nous ne croyons pas un procédé convenable, car il est certain qu'un navire se déforme après sa mise à l'eau, et même à différents tirants d'eau, en ce que, lorsqu'il est lourdement chargé, il a une tendance à reprendre sa vraie forme. Quand les machines sont bien unies entre elles et à la plaque de fondation, il importe peu qu'elles soient mises à bord avant ou après le lancement, mais il n'en est pas de même pour les arbres et autres parties s'étendant loin de l'appareil moteur. »

à la vapeur bien supérieures à celles des navires de guerre. C'est sans doute la conservation des anciennes formes qui est la principale cause de la médiocrité de l'utilisation des vaisseaux anglais, dont il a déjà été parlé dans la première partie de cet ouvrage, et de ceux portés sur les tableaux de M. Bourne. (Comparer l'utilisation du *Frankfort*, page 131, à celles de la table (page 229). Ces utilisations sont très-inférieures à celles du *Napoléon*, qui ont été trouvées de 259 pour la puissance nominale, et 172 pour celles obtenues par l'indicateur, au moment de la plus grande vitesse observée. Il est même singulier que, dans le pays où les paquebots ont si bien réussi dans la nouvelle voie, les navires de guerre soient restés dans l'ancienne, et que ce soit chez nous, où le commerce ne présente aucun exemple utile, qu'on ait réussi à perfectionner les vaisseaux. Aussi les résultats obtenus de l'autre côté de la Manche sont dus aux mécaniciens anglais, qui ont donné des puissances considérables à des machines légères et peu volumineuses, tandis qu'en France les appareils moteurs ont beaucoup laissé à désirer jusqu'à présent, et que les perfectionnements tiennent surtout à la forme et à la bonne disposition de toutes les parties des navires.

On est porté à conclure de ce qui précède, que l'ancien navire a des proportions peu convenables pour la marche à la vapeur; on peut même pousser plus loin, en disant que s'il en avait de bonnes pour la voile, elles sont devenues médiocres parce que d'autres, telles que celles des clippers, se sont montrées préférables. On a donc fait un grand progrès en modifiant l'ancienne construction, et *le Napoléon* en est un bel exemple; mais pour ne pas trop détruire de ce qui existait dans les navires en chantier, il a fallu les maintenir tels qu'ils étaient. Aussi on doit s'attendre à ce que de tels vaisseaux n'utilisent pas bien leur moteur et à n'obtenir que des marches médiocres pour de grandes consommations. Si les vaisseaux naviguaient beaucoup, il y aurait profit à augmenter les dépenses de leur transformation, et à leur donner des avants fins. Il y aurait probablement une faible longueur à détruire, si on adoptait les formes de beaucoup de paquebots, c'est-à-dire si, en abaissant une verticale de la figure de poulaine, on en faisait l'étrave sans changer le beaupré, et qu'on raccordât cette partie avec le reste de la construction; on aurait ainsi un avant très-fin depuis le brion jusqu'en haut. Il en résulterait des embarras pour le placement des écubiers, pour celui des ancres au bossoir, ainsi que pour d'autres détails; mais ils ont été évités sur les navires marchands. Avec des avants très-fins il serait, je

crois, utile d'avoir deux bossoirs, afin de ne pas tenir l'ancre suspendue au bout d'un long levier : on aurait ainsi une place d'amarrage de l'ancre à la mer, et pour le mouillage il n'y aurait d'inconvénient à mouiller de ce point, que si le fond était très-petit; sans cela, l'ancre viendrait naturellement à l'appel de l'écubier de l'avant par son poids et la résistance du frottement de la chaîne. On ne saurait d'abord quelle disposition donner aux latrines de l'équipage; ce ne seraient là que des détails et non de vraies difficultés, les moyens ne manqueraient pas pour les corriger. La plus grande objection serait sans nul doute la nouveauté; il y aurait un cri d'étonnement et peut-être d'horreur, à l'apparition de cette forme disgracieuse, plutôt parce qu'elle serait trop nouvelle que par son aspect réel : l'œil se trouverait aussi étonné que si on voyait reparaître les queues de morue et les gaînes du temps du Directoire au milieu de nos habits noirs écourtés et des nuages de crinoline et de volants de nos dames. La vue s'y ferait; nous avons bien passé de l'élégante et riche ornementation de nos vaisseaux de Louis XV et de Louis XVI, dont nous avons vu les restes sur ceux de l'Empire, à la froide simplicité de nos constructions actuelles. Un ingénieur artiste rendrait bientôt cette forme élégante, et on trouverait peut-être un jour celle de nos vaisseaux actuels ridicule et moins rationnelle. Il serait, je crois, très-curieux de tenter un essai de cette sorte sur un navire semblable à plusieurs autres, et de faire le soufflage assez solide pour résister à la mer, car ce serait avec gros temps qu'une telle forme serait avantageuse et ferait gagner deux ou trois nœuds.

Je ne possède pas les connaissances nécessaires à des calculs sur de tels sujets, mais l'instinct marin et surtout l'aspect de ce que fait le commerce me montrent qu'il y aurait un avantage notable pour la marche et les qualités nautiques, à imiter ce qui a été expérimenté. De pareilles formes paraissent un changement plus radical que les transformations effectuées, mais dès qu'on a modifié l'avant, elles n'augmenteraient probablement pas beaucoup la dépense en ce qu'elles n'emploieraient guère que des bois droits. Cette partie additionnelle et destinée à favoriser l'action du propulseur serait sans inconvénients rendue moins épaisse, pour avoir un poids moindre, et dans les constructions ordinaires on ne se rend pas bien compte de l'égalité d'épaisseur de certaines pièces : ainsi les préceintes, qui ne protégent pas les hommes, résisteraient mieux à l'arc si on retranchait leur surcroît d'épaisseur, en leur faisant affleurer le bord aux extrémités, pour la reporter au milieu. On ne fait pas les vergues cylindriques, et si les préceintes lient en résis-

tant à l'allongement des hauts, elles le font aussi par leur roideur. Pourquoi, d'un autre côté, les baux n'auraient-ils pas une force proportionnée à leur portée, comme les poutres des planchers? Ce seraient des poids de moins aux extrémités, et si les anciennes proportions ne nécessitent pas antant la légèreté de ces parties, les nouvelles la réclament. J'ai entendu émettre ces idées rationnelles à un ingénieur très-distingué, et il serait à souhaiter qu'elles fussent adoptées.

Il y a eu des vaisseaux allongés par le centre, c'est un moyen beaucoup moins dispendieux que les modifications apportées aux extrémités, en ce qu'il ne fait perdre que quelques bordages, mais pas un couple ni un bau, tandis que les extrémités nécessitent le changement d'une quantité notable de bois tord. En allongeant par le milieu on augmente beaucoup la capacité ainsi que le tonnage. Mais on gagne probablement peu sur la marche, et il ne faudrait pas se baser sur les résultats cités page 380, parce que, dans ce cas, l'allongement a été opéré sur des navires déjà fins. Une partie cylindrique permet d'embarquer plus d'artillerie, parce qu'on n'ose pas en mettre sur des extrémités trop fines.

L'emploi forcé du bois pour la construction des navires de guerre est une des plus grandes objections contre leur allongement. Les pièces de charpente ne s'unissent entre elles que par des chevilles, et celles-ci ne sauraient être trop multipliées sans augmenter le poids et exposer le bois à se fendre suivant son fil. On ne peut donc lier toutes les parties d'une construction en bois comme on coud, pour ainsi dire, toutes celles d'un navire en fer, pour en faire un tout sensiblement aussi solide que s'il était d'une seule pièce. Il est bien évident que le pont tubulaire du détroit de Menai eût été impraticable avec le bois, on n'eût pas même songé à le tenter; tandis qu'en fer il laisse passer dans son intérieur des locomotives et des trains entiers. Il en résulte donc que pour les constructions maritimes, qui sont aussi de longs tubes irréguliers et fortifiés par des cloisons intérieures, le fer offre des qualités toutes particulières pour la liaison, et permet d'atteindre des dimensions impossibles avec le bois. Mais ce n'est pas une raison d'en conclure que ce dernier soit limité à la proportion de 1 à 4. Beaucoup de vapeurs ont celle de 1 à 6, et malgré la mauvaise distribution de leurs poids, l'interruption de plusieurs ponts au-dessus des machines, et l'inégalité de leur chargement au centre, ils naviguent depuis longtemps.

Le clipper américain *Great-Republic*, qui a été incendié, avait, dit-on, 99^m,12 de long, 16^m,16 de bau extérieur, 11^m,89 de creux en comprenant

le rouffle, 4623 tonneaux de jauge légale et $7^m,01$ de tirant d'eau. Le rapport de la longueur à la largeur est 6,13, et celui de la longueur à la profondeur 8,53. Il avait quatre ponts complets. Les lignes étaient légèrement concaves à l'avant et à l'arrière, et les extrémités très-longues et très-aiguës surtout à l'avant, de manière à conserver la forme angulaire jusqu'à la lisse. Le pied du brion était élevé d'environ $0^m,60$ et cette élévation était graduelle à partir de la quille droite, sur une longueur de 18^m. Le brion formait un arc de cercle au lieu d'un angle. Il se trouvait à bord une machine de 18 chevaux destinée à exécuter les gros travaux de chargement; elle devait être mise dans la chaloupe et servir à l'embarquer ou à la débarquer. Employée à remorquer, on espérait qu'elle ferait filer trois nœuds. Le navire était entièrement construit en bois et doublé en cuivre; il avait la mâture d'un navire de guerre et déployait 16 000 yards carrés de toile. Il était capable d'arrimer au moins 6000 tonneaux à cause de la grande capacité de ses fonds. Il est à regretter que la prompte destruction de ce navire ait empêché d'expérimenter ses formes, mais il faut que ces dernières aient inspiré une grande confiance, pour faire entreprendre d'après elles une construction aussi considérable.

Le grand navire à hélice *l'Hymalaya*, dont l'aspect général est reproduit en tête de cet ouvrage d'après une lithographie anglaise, a également prouvé les avantages des formes aiguës. Il est construit en fer, porte plus de 4000 tonneaux; il a $113^m,66$ de long, $14^m,08$ de bau, c'est le rapport de 1 à 8,07, et $7^m,54$ de creux. *Le duc de Wellington* est de 28^m plus court, et le *Great-Britain* de $12^m,20$. Les machines construites par M. Penn sont à fourreau et semblables à celles de *l'Agamemnon*, elles fonctionnent d'une manière remarquable. Leurs deux cylindres ont $2^m,032$ de diamètre et $1^m,067$ de course, elles font 50 à 60 révolutions, l'hélice est à deux ailes de $5^m,49$ de diamètre et $8^m,54$ de pas; elle pèse sept tonneaux. *L'Hymalaya* a filé 14 nœuds mesurés à terre, il a été jusqu'à 15 nœuds avec voiles et vapeur. Contre un coup de vent dans le golfe de Gascogne, il a conservé une vitesse de 9,5 à 10,5 nœuds et on a remarqué combien ses mouvements à la mer étaient doux.

DISPOSITION DE L'ARTILLERIE.

Pour une artillerie considérable, les difficultés d'un allongement considérable sont très-grandes; mais la limite est loin d'être encore fixée,

et avec des formes analogues à celles des paquebots, il est permis d'espérer qu'elle s'étendra beaucoup. Si les extrémités n'étaient utiles qu'à la marche et qu'elles fussent perdues pour la force militaire, les sabords pratiqués loin du centre ne seraient pas garnis de canons : on aurait ainsi des navires d'une construction très-dispendieuse relativement à leur force : tandis que leur mettre des pièces de bout en bout serait les fatiguer et les exposer à des déformations rapides. Ce serait vrai si ces pièces n'étaient pas faciles à déplacer, dès que le temps devient assez mauvais, pour que leur poids situé au bout d'un long levier tourmente le navire (480). Dans de telles circonstances, pourquoi ne pas les transporter au centre, à des postes spéciaux et disposés exprès, ainsi que le barrottage du milieu des batteries? Quand la mer est grosse et qu'on marche bien, on peut toujours se donner quelques instants, et, avec des dispositions que l'expérience indiquerait bientôt, transporter les canons presque aussi vite que les démarrer. Certes, il semble plus militaire d'avoir toutes ses pièces en batterie ; mais si on ne le peut pas par tous les temps, est-ce une raison de laisser à terre celles destinées à garnir les sabords vides? Cette partie mobile servirait, pour ainsi dire, à faire les faisceaux, comme les soldats, qui ne gardent pas toujours l'arme à leur bras, et avec les distances auxquelles on se voit en mer, on aurait certes le temps de prendre les armes. Quelques circonstances de parages, d'atmosphères brumeuses, ou de nuits obscures, engageraient peut-être seules à encourir la fatigue des pièces à leur poste. Mais au moins on ne resterait pas éternellement l'arme au bras, et l'artillerie placée sur un navire long ne serait plus limitée à ce qu'il porterait facilement de gros temps, mais seulement à ce qui ne le fatiguerait pas de belle mer. Elle serait donc beaucoup plus nombreuse, ne laisserait pas autant de sabords vides, et sa force militaire compenserait mieux les dépenses de la construction et du propulseur. De telles dispositions seraient difficiles à effectuer sur un navire déjà construit, en ce que le milieu des ponts n'a été fait que pour porter les pièces de ses sabords, et que l'accumulation des autres canons l'exposerait à fatiguer. En donnant plus de force à la portion centrale, il n'en résulterait pas de désavantages, puisque les additions de poids résultant de ce surcroît de solidité seraient situées là où se trouve le plus grand déplacement. Sur des navires auxquels on mettait moins de canons, on a eu l'idée d'augmenter la distance des sabords; mais puisqu'il y a un écartement des pièces reconnu suffisant pour leur manœuvre, il vaut mieux ne pas l'augmenter, parce que les canons sont une ques-

tion de position autant que de poids, et qu'il est préférable de les concentrer au-dessus des parties pleines de la carène.

Un navire mixte doit exécuter tout ce que fait celui à voiles, et de plus il est en mesure de marcher non-seulement de calme, mais même de lutter avec avantage contre des temps qui entraînent les autres en dérive. Déjà nos anciens vapeurs à roues, malgré la faiblesse de leur moteur et la mauvaise disposition de leur propulseur, ne perdaient pas au vent par des gros temps, en se tenant au plus près sous voiles et vapeur. Avec tous les avantages de l'hélice on se soutiendrait mieux et même on gagnerait contre des temps très-mauvais, mais pour cela il est nécessaire que le bâtiment se comporte bien. Il faut même qu'il le fasse mieux que l'ancien navire à voiles, car celui-ci cédait lentement au mauvais temps, tandis que le premier lutte et gagne contre la mer et le vent. S'il est tourmenté par les mouvements occasionnés par ses formes et par la position de son artillerie, il est forcé de se résigner à capeyer comme s'il n'avait pas de machine. Nos anciens vapeurs n'avaient pas d'artillerie et leurs formes étaient déjà moins grosses que celle des navires à voiles. Cependant plusieurs d'entre eux tanguaient très-durement; ainsi *le Gomer*, sans artillerie, était loin de se comporter aussi bien que *l'Orénoque*: son tangage était très-dur et arrêtait court le sillage à cause de son avant renflé.

On reprocherait sans doute aussi aux extrémités aiguës de ne pas permettre l'emploi des canons de chasse. Mais les pièces ainsi placées sont-elles aussi utiles qu'elles l'étaient jadis? Lorsque le seul moteur était la voilure étendue dans les airs, il est évident que le chasseur et le chassé cherchaient mutuellement à se dégréer, à couper les manœuvres ou les vergues et à percer les voiles; ils diminuaient d'autant la vitesse de leur ennemi, et augmentaient la différence relative des deux marches; quelques coups heureux laissaient échapper le poursuivi ou le faisaient prendre, s'ils venaient du navire ennemi. Les canons de retraite et de chasse avaient donc une très-grande importance, et quand il y avait inégalité de force, mais peu de différence de vitesse, ils se trouvaient appelés à décider une affaire. Mais maintenant que le moteur est sous l'eau, qu'il est invulnérable, le meilleur marcheur sera sûr de son affaire et en peu d'instants on saura des deux côtés si réellement la rencontre aura lieu. Les pièces extrêmes joueront donc un rôle moins important et même elles ne seront utiles, surtout à l'avant, que si la mer est calme; mais avec de la houle le surcroît de tangage occasionné par

leur poids amènerait une diminution de vitesse plus nuisible que quelques coups de canon ne seraient profitables. Car il faut naturellement admettre que la distance est d'abord grande et que les premiers coups sont incertains. Dès que l'intervalle devient petit, la question est plutôt décidée par la machine. Une belle marche vaudra toujours mieux que les canons de chasse, et s'il faut négliger ces derniers pour l'obtenir, il me semble que le choix ne saurait être douteux. Les Anglais ont placé un énorme canon sur leur gaillard d'avant (pages 365, 368); nous avons eu raison, je crois, de ne pas les imiter : avec la moindre mer et un gros avant, le poids de cette pièce seule serait une cause de retard : sans compter la fatigue qu'elle ferait éprouver pendant tout le cours de la navigation.

On admet naturellement dans tout ceci, que le combustible n'a pas été gaspillé et qu'on en possède suffisamment. S'il n'en était pas ainsi, celui qui en manquerait tomberait dans une infériorité relative tellement grande, que s'il poursuit il ne peut songer à continuer, et qu'il est bientôt atteint dans le cas contraire. Toute la différence du navire mixte au navire à voiles se montrerait alors. Il n'en serait pas de même du vaisseau à vapeur rapide et de celui à marche lente : le premier est entièrement libre de combattre ou de ne pas le faire, mais le second se trouve aussi fort au moment de la rencontre. Ce n'est pas pour se battre qu'un moteur puissant est important, il ne l'est, à bien dire, que pour l'exécuter avec certitude avec qui et quand on le veut. Aussi est-ce une des raisons alléguées pour les petites puissances à bord des vaisseaux destinés à naviguer ensemble ; ils sont si forts que ce n'est pas leur vitesse qui les rend plus redoutables. C'est très-vrai pour des expéditions contre la terre, puisqu'on ne peut venir prendre un poste d'embossage en filant 12 nœuds : *le Montebello* viendra se placer aussi bien que *le Napoléon*. Mais à l'égard des autres navires, on est en droit de dire que s'ils ne craignent pas les rapides, ils ne peuvent non plus leur faire du mal; que ces derniers enlèveraient des navires à marche lente devant eux : et qu'ils entreraient ou sortiraient des ports bloqués en ne se rencontrant que peu d'instants avec l'ennemi, et que de gros temps surtout ils le feraient impunément.

Maintenant qu'on peut établir qu'on ne se battra plus sous voiles, toutes les modifications modernes opérées pour avoir des ponts très-vastes perdent en grande partie leur importance : et il n'est plus aussi utile de placer un pont rectangulaire sur une carène aiguë et de charger

ainsi les extrémités par le poids d'une vaste charpente. Il ne serait donc pas étonnant de voir revenir à l'adoption de la rentrée, comme on a eu déjà raison de le faire dans la construction du *Napoléon* et de *l'Algéziras ;* on diminuerait ainsi le poids des hauts et on trouverait une compensation dans le tonnage devenu libre. Un vaisseau sans rentrée a, dit-on, une soixantaine de tonneaux de bois de plus dans ses hauts et naturellement un lest correspondant; ce serait donc un gain d'au moins un jour de chauffe, ou la faculté d'avoir plus de vivres, ou même un moteur encore plus puissant.

DIFFÉRENCE DE TIRANT D'EAU.

Il a fallu que les ingénieurs déployassent beaucoup d'art pour donner une stabilité suffisante aux navires mixtes à tous les degrés du chargement; car jadis les vivres étaient les seuls poids que rien ne remplaçait et le charbon est venu ajouter des différences encore plus grandes, en ce que les soutes étanches ne sont remplies d'eau que lorsqu'elles ont été complétement vidées de leur charbon. La distribution de ces poids variables doit aussi être étudiée par les marins pour conserver le navire à une bonne différence. En général il ne faut jamais que la consommation du charbon fasse tomber le navire sur nez, la voilure n'agit plus si bien et l'hélice a plus de recul. S'il y a une variation dans la différence, il vaut mieux que ce soit en sens inverse, c'est plus avantageux pour l'hélice; mais si c'est poussé trop loin, le balancement de la voilure n'existe plus : ce serait perdre les qualités de bon voilier juste au moment où la pénurie de charbon les rend plus indispensables. Si la différence du navire au moment du départ était nulle et qu'en avançant son tirant d'eau de l'arrière ne variât pas, il aurait beaucoup trop de différence à la fin du trajet. On arriverait ainsi à être très-ardent pour devenir très-mou; la voilure ne serait balancée qu'au milieu de la traversée. Il paraît que quelques caboteurs ont cherché à conserver le même tirant d'eau derrière, mais ils faisaient probablement peu usage des voiles et n'étaient pas dans les conditions du navire de long cours, pour lequel les qualités de bon voilier doivent être conservées intactes. Ces derniers n'ont pas, comme les petits navires, à craindre d'émerger leur hélice; leur tirant d'eau est considérable et on a trouvé de l'avantage à l'augmenter pour mettre le propulseur dans de meilleures conditions, et lui donner un diamètre assez grand pour obtenir une marche rapide. On a vu, page 145,

que M. Bourno conclut des expériences de la *Minx*, que les navires plats et d'un petit tirant d'eau sont très-difficiles à faire avancer, et que le périmètre, ou ligne extérieure de la maîtresse-section, doit être le plus court possible relativement à la surface, pages 127 et suivantes.

On me trouvera sans doute bien audacieux d'oser parler de ces questions importantes, mais ce n'est nullement de la construction navale que j'ai cherché à m'occuper; je n'ai certes ni les connaissances ni les talents nécessaires pour cela. Il ne faut donc voir dans ce qui précède que l'expression de ce que, comme marin, je crois utile et assorti aux conditions toutes nouvelles de la navigation depuis l'adoption de l'hélice. Nous nous servons des navires, les conduisons à la mer et les observons par tous les temps; par conséquent, nous arrivons parfois à connaître ce qui convient à la navigation, et à observer ce que font les autres nations. Nous ne saurions en aucune manière exécuter des navires, il ne nous est dévolu que de les employer, et c'est en remplissant ce rôle qu'il nous est possible de parvenir quelquefois à distinguer ce qui nous paraît utile. A cette époque de transformation si remarquable, chacun doit apporter son contingent, si petit qu'il soit, en exposant le résultat de ses études et de ses réflexions.

VOILURE DES NAVIRES A HÉLICE.

Comme on a eu occasion de le voir plusieurs fois, l'hélice est assortie à toutes les proportions de puissance au tonnage et présente toujours les mêmes avantages, tandis que les roues à aubes ne sauraient être entraînées par une force trop faible sans perdre beaucoup de leur effet : elles ont un minimum de vitesse, au-dessous duquel il ne convient pas de les employer, et le peu d'utilisation de nos anciennes corvettes de 160 chevaux en est une preuve évidente (voy. tableau V). De ce que ces rapports ont des limites restreintes dans un cas et très-étendues dans l'autre, il résulte des différences dans les voilures, dont la surface croît ou diminue à peu près en raison inverse de la puissance mécanique. En effet, sur un paquebot ou sur un aviso rapide, elle ajoute très-peu à la vitesse dans les circonstances favorables, et la mâture ordinaire, avec ses vergues et son gréement compliqué, devient nuisible quand le vent est contraire. Aussi de tels navires ont des voiles pour s'empêcher de rouler, plutôt que pour améliorer leur marche. Il n'en est pas de même avec une faible puissance : la machine n'est plus le moteur principal, c'est au contraire

la voilure : et comme en outre l'hélice fonctionne d'autant mieux que les voiles favorisent la marche, rien n'empêche de donner à ces dernières toute leur ancienne étendue. Aussi on n'aurait pas réussi à faire un vrai navire à voiles avec des roues à aubes, tandis qu'on l'a exécuté naturellement avec l'hélice. Il n'y a donc alors d'inconvénients que l'obstacle des mâts exposés au vent contraire et les poids dont ils chargent le navire. Comme il y a encore des cas où la surface des pièces de mâture est nuisible, il n'en faut pas moins chercher à la réduire alors, tout en permettant de déployer beaucoup de toile, et choisir les systèmes qui présentent ces deux conditions. Pour les petites dimensions, l'antenne aurait offert ces avantages; elle était employée sur les galères, mais à cause de la cheminée, elle n'est pas adoptée sur les vapeurs : on a donc préféré les goëlettes et leurs mâts élevés et grêles. Ce dernier genre de voilure est sans contredit le mieux assorti à la navigation à vapeur, et il a été employé sur de beaucoup plus grandes échelles que jadis, tout en conservant des voiles carrées pour les vents de l'arrière. Il forme les vraies voiles majeures des vapeurs, ne présente pas au vent contraire les nombreuses vergues et le grëement des voiles carrées, il se met à l'abri du vent le long du mât et a plus de surface vers le bas. Tant que les navires ne sont pas trop grands, il convient seul, et ses limites devraient être étendues plus loin qu'on ne l'a fait jusqu'ici. Les corvettes à vapeur ont trop de voiles carrées, et, comme je l'ai déjà dit, je pense que le type du *Chaptal* leur conviendrait beaucoup mieux; il rendrait leur marche plus économique et même plus rapide (voy. p. 399).

La grande longueur des nouveaux navires à hélice amènera probablement à modifier leur mâture; déjà quelques paquebots ont adopté quatre mâts, et il est probable que quelquefois ils seront imités; car si jadis nous nous élevions de plus en plus pour placer des voiles, c'est que l'espace manquait dans le sens horizontal. Si les mâts avaient été trop rapprochés, leurs voiles auraient été mutuellement déventées et leurs vergues se seraient croisées en virant de bord. Pour donner à celles-ci assez de longueur, le mât de misaine se trouve sur le brion, et le manque d'espace fait d'un côté allonger la guibre pour porter un lourd beaupré, et de l'autre donner de la quête à l'arrière pour étendre un peu plus la voilure du mât d'artimon. Ne pouvant s'élever au delà de certaines limites, on a cherché de la surface en l'allongeant hors de l'eau, puisqu'on ne croyait pas pouvoir le faire au-dessous de la flottaison. Mais dès que le navire est plus long, toutes ces anciennes difficultés disparaissent, l'élan-

cement des extrémités devient inutile, et en plaçant les mâts entre eux à peu près comme ils étaient placés, la surface est la même et les pièces de mâture ne chargent pas inutilement les extrémités. Si avec les nouvelles proportions les navires ont des évolutions plus étendues et d'une plus grande durée, c'est parce qu'ils sont longs. La position de leurs voiles n'influe pas beaucoup sur leurs évolutions et favorise peu pour les abattées; il est probable qu'ils vireraient aussi bien de bord en concentrant leurs mâts. On en a un exemple, dans de petites dimensions il est vrai, à bord des goëlettes, dont les mâts n'ont quelquefois pas entre eux une distance égale au tiers de la longueur du navire, et qui n'ont cependant pas de voile carrée; elles n'en sont pas moins remarquables par la manière dont elles évoluent, et elles ne se comporteraient pas aussi bien si leurs mâts étaient plus près des extrémités.

La toile placée bas est la plus utile, puisqu'elle ne fait pas donner de bande et permet plus de surface avec le même vent, sans tourmenter la mâture ni le navire: il en résulte qu'il est à regretter de voir sur les vapeurs d'aussi grands intervalles où aucune voile n'est établie. Avec des vents frais, on doublerait la force motrice de la voilure si on avait plus de toile près du pont. Les focs et les goëlettes se portent bien à cause de cela, et parce qu'elles n'ont pas des vergues lourdes; aussi on a eu soin d'en augmenter autant que possible la dimension, même sur les navires carrés, afin qu'avec de grands vents elles présentent une surface suffisante et ne soient plus de simples voiles de cape.

Pour gagner contre du vent et de la mer, ces voiles sont très-utiles; car en luttant directement contre le vent, on sait que le propulseur tourne toujours aussi vite (voy. p. 65 et 69); et lorsqu'on ne fait que 3 nœuds, on se trouve brûler autant de charbon que si on en filait 8 ou 9. Il y a donc là un très-mauvais emploi de la force motrice, et pour que le propulseur ne l'use pas à remuer de l'eau, il faut nécessairement l'aider avec les voiles, afin que se déplaçant plus facilement il trouve pour appui une eau encore inerte, au lieu d'agir sur celle qu'il a déjà entraînée. Mais pour lui venir en aide, il faut prendre le plus près, et si on n'a que les voiles carrées, se voir réduit à ne porter qu'à sept quarts à cause des ris pris. Dès lors le but n'est pas atteint, et au lieu de laisser le propulseur remuer de l'eau, on lui fait parcourir un chemin inutile : les voiles seules produiraient presque le même résultat, autant vaudrait éteindre; car l'hélice ne sert guère qu'à faire mieux gouverner et à diminuer la dérive en accélérant un peu la mar-

che. Au contraire, avec les goëlettes on porte à cinq quarts, et pour gagner beaucoup plus dans le vent on va moins vite; si ces voiles étaient seules, leur impulsion serait insuffisante et l'action du vent sur la coque et la mâture du vaisseau entraînerait en dérive; mais avec l'aide du propulseur, elles sont soutenues, le sillage augmente et par suite l'angle de dérive diminue. Les deux moteurs se trouvent alors dans de bonnes conditions respectives et dans des proportions plus avantageuses; car dans un cas la voilure n'était presque rien, dans l'autre elle était trop et surtout elle éloignait de la direction dans laquelle on cherchait à gagner; Aussi je crois que si, par ses formes effilées et la position de ses poids, un navire se conduit bien, il n'y a pas dans nos climats de temps capable de le faire reculer, ni même de l'empêcher de gagner dans le vent. Mais pour cela que de conditions à remplir et combien il faut que l'appareil moteur soit solide et bien disposé !

L'emploi d'une puissance mécanique apporte une autre différence dans les voilures actuelles, et il y a lieu de croire qu'elle rend inutiles toutes les voiles de petit temps, si importantes à l'époque où le vent était le moteur commun. En effet, avec petite brise, plus on avait de toile, mieux on marchait, et dans une chasse, chaque mètre carré avait son importance. En outre, la multiplicité des voiles en laissait quelques-unes établies lorsque les autres étaient détruites; aussi pendant la guerre avait-on de nombreuses voiles d'étai, des dragons et des contre-cacatois, que la paix a fait abandonner, parce qu'ils compliquaient le gréement et ne rendaient presque aucun service à la navigation ordinaire. Cette réduction s'est étendue plus loin, et on se borne souvent aux perroquets et aux bonnettes de hune, celles de perroquet et les cacatois deviennent des voiles inutiles dès que la machine est capable de faire filer 7 ou 8 nœuds. Si de la sorte on enlève un peu de surface, on supprime des poids dont l'élévation et les mouvements forcent à donner un surcroît de solidité à ce qui les soutient. Sur les petits navires ces réductions ont été opérées, sur les grands elles ont moins d'importance.

MANŒUVRE DES NAVIRES A HÉLICE.

Il résulte des propriétés de l'hélice que le navire, entraîné par ce propulseur, ne navigue ni comme celui à roues à aubes ni comme celui à voiles, et que dans la manière d'employer les deux moteurs il se rapproche de l'un ou de l'autre. Ainsi le paquebot rapide est conduit comme

celui à roues et le navire à faible puissance auxiliaire, à peu près comme celui à voiles. C'est la conséquence de la variété de rapports entre la puissance motrice et le tonnage, ainsi que de celle de la voilure. La manière d'agir de l'hélice entraîne aussi à des différences, en ce que les roues repoussent l'eau avec la même vitesse, quel que soit le sillage, et leur recul n'augmente pas dans un très-grand rapport quand la vitesse diminue. Par conséquent, si elles font peu avancer, elles ne consomment pas beaucoup de force, et dans certaines limites c'est presque proportionnel. Ainsi le vent debout use moins les ressources en combustible et permet de lutter à moins de frais ; on est donc en mesure de le faire pendant plus longtemps ; on en a vu des exemples dans les expériences citées par M. Bourne et dans la conservation des roues pour les paquebots importants et exposés à des vents debout prolongés, tels que ceux des lignes entre l'Europe et l'Amérique du nord.

Avec les roues, le meilleur est de lutter directement, et plus la puissance est grande plus c'est avantageux, car si sur 400 chevaux que déploie la machine, 200 sont employés seulement à résister au vent et à la mer, il en reste 200 pour gagner; tandis que si on n'en avait que 200, on resterait en place tout en consommant ses ressources (page 470). Il y a donc économie à déployer beaucoup de force contre les grands obstacles et parmi les différences des tableaux III et IV des utilisations des paquebots anglais relativement à leur tonnage; c'est peut-être à cette cause que les navires rapides doivent en partie leurs résultats avantageux. En outre, les rapports entre la puissance et le déplacement ayant des limites plus restreintes qu'avec l'hélice, et, par suite, les voiles ne différant guère qu'entre les paquebots très-rapides et ceux à marche médiocre, on comprend que les manières de naviguer varient peu. Cependant le navire à faible puissance est souvent forcé de renoncer à lutter contre le vent et de prendre le plus près avec voiles et machines; mais alors il met ses roues dans de mauvaises conditions, et, par le surcroît d'immersion de celle de sous le vent, il emploie sa force plutôt à remuer de l'eau qu'à se faire avancer : c'est au point que, sur un navire à très-faible machine, j'ai vu souvent la roue aller moins vite que l'eau, quand on faisait beaucoup de toile.

On vient de rappeler que l'hélice différait beaucoup de l'aube, en ce qu'elle tournait aussi vite, quelle que fût la vitesse, et que le navire étant amarré à un point fixe, elle faisait presque autant de révolutions que s'il filait 13 nœuds. Par conséquent, avec vent debout elle con-

somme autant de charbon qu'en marchant vite, et si elle fait un peu plus avancer que les roues, c'est au prix d'une consommation énorme. Si deux navires, l'un à roues, l'autre à hélice, comme le *Butler* et l'*Alecto* ou le *Basilisk* et le *Niger*, partent pour une longue traversée avec vent debout, il arrivera que, quoiqu'un peu moins rapide, celui à roues atteindra le but, tandis que celui à hélice n'aura plus de charbon avant d'y être parvenu. Il faut donc que ce dernier prenne un autre moyen, et que, renonçant à la lutte directe, il fasse des bords et utilise la propriété de l'hélice de fonctionner d'autant mieux qu'elle est aidée par les voiles. Dès lors il parcourt beaucoup plus de chemin pour atteindre le but; mais, au moins, il ne le fait qu'en déployant très-peu de force mécanique puisqu'il emploie la voile, et s'il arrive plus tard ce sera peut-être aussi sans avoir brûlé autant. On comprend que la variété des cas de la pratique ne s'accorde pas toujours, avec ce qui est exposé ici d'une manière absolue, pour en donner une idée. Mais on n'en déduit pas moins qu'en général, l'hélice ne doit pas être employée seule pour lutter contre les obstacles, et cela d'autant moins que sa puissance d'impulsion est plus faible. Ainsi un navire dont l'appareil ne donne que 5 nœuds en calme ne doit considérer sa machine que comme une ressource quand il n'y a pas de vent, et comme un moyen d'assurer des évolutions douteuses, ou de se tenir bien gouvernant à la cape. Mais dès la moindre brise debout, il éteint et redevient tout à fait navire à voiles. Il en est encore de même avec de plus grandes puissances, mais avec des vents plus frais. Ainsi avec une brise à prendre le ris de chasse et la mer correspondante, un vaisseau comme *le Charlemagne* ou *le Jean-Bart* trouvera plus avantageux de prendre le plus près, et s'il veut gagner à tout prix de ne se servir que de ses goëlettes. Les puissances et les formes dans le genre de celles du *Napoléon* sont seules à même de vaincre de grands obstacles. Mais il n'y a que des chasses décisives qui puissent porter à déployer une énergie aussi coûteuse que la sienne et après laquelle on se trouve avec des ressources beaucoup moindres. On voit, d'après cela, combien l'emploi de l'hélice offre de nuances variées et combien il demande plus de tact et de talent de la part du capitaine que celui des roues à aubes. Avec le propulseur sous-marin, le sud-ouest $\frac{1}{4}$ sud n'est quelquefois pas le plus court chemin pour se rendre de Toulon à Alger. J'ai longtemps cherché à me poser quelques règles pour employer avantageusement l'hélice et la voilure ; mais je n'ose les exposer, parce que je n'ai pas été jusqu'à présent en position de les appuyer sur l'expérience;

celle-ci est le meilleur guide en parcille matière, et les déductions tirées des propriétés du propulseur servent seulement à diriger les premiers essais. Mais je ne doute pas qu'il ne soit possible d'établir des principes généraux et d'une application facile pour ce nouveau genre de navigation.

Puisque le navire mixte change fréquemment de rôle, il est indispensable qu'il le fasse rapidement et on en a déjà fait sentir l'importance en parlant des embrayages, page 334. Le passage de la voile à la vapeur et réciproquement ne saurait être effectué moins vite que les manœuvres ordinaires et même il doit l'être plus promptement que celle de lever l'ancre ou de donner une remorque. Cependant on a paru penser quelquefois qu'il suffisait que la durée de l'opération n'excédât pas le temps nécessaire pour avoir de la vapeur : mais est-ce que pendant qu'on chauffe on ne navigue pas à la voile, et attendra-t-on un ennemi ou se laissera-t-on aller en dérive pour attendre un embrayage ? Quand on est en division, il ne faut pas que l'un soit trois quarts d'heure à tourner des vis pour embrayer, tandis que l'autre a fini en cinq minutes. Rien ne portera plus à gaspiller le charbon que la crainte de ne pas embrayer en un instant. Aussi les moyens mécaniques les plus ingénieux pour mouvoir les plateaux ne vaudront jamais un palan agissant sur un levier avec son garant dans une batterie pour mettre dessus autant d'hommes qu'on le veut. Il faut qu'on embraye ou qu'on débraye avec autant de certitude et de célérité, qu'on stoppe et qu'on file une chaîne avec un étrangloir à lunette : les efforts à exercer ne sont certes pas plus grands dans un cas que dans l'autre.

Quand l'hélice se démonte l'opération est naturellement plus longue, aussi le changement de rôle est plus lent. Ce sera quelquefois un inconvénient, surtout quand il y a des portes à ouvrir, et quand il s'agit de démonter, parce qu'alors il faut d'abord arrêter l'hélice pour la fixer à la position convenable avant de la hisser (voy. p. 307). C'est encore une des considérations relatives à la question exposée page 315 sur les avantages et les inconvénients des hélices fixes ou amovibles, qu'une longue expérience décidera seule complétement.

L'HÉLICE NE POUSSE PAS EN LIGNE DROITE.

Puisqu'il s'agit de manœuvre, il convient de citer une propriété remarquable de l'hélice : c'est de ne pas pousser le navire en ligne droite comme les roues à aubes, mais de le faire toujours tourner vers le même

bord. *La Pomone* a de la tendance à venir sur bâbord, on l'attribua d'abord à un faux côté : cet effet n'avait plus lieu avec les voiles. *Le Montebello*, en marchant en arrière, abat toujours sur bâbord, sa barre n'a aucune influence et il fait ainsi le tour complet de l'horizon en dix minutes. Le même effet a été observé en Angleterre. Pour s'assurer que cette tendance existait toujours, on a lancé le vaisseau de l'avant en mettant la barre à bâbord et lorsque l'abattée a été très-marquée, on a marché en arrière et on a redressé la barre, le vaisseau a continué à venir sur tribord tant qu'on a été de l'avant, une fois étale il s'est arrêté, et dès qu'il a culé il a recommencé à venir sur bâbord avec rapidité. On avait déjà remarqué ce fait sur *le Napoléon*. Ces mouvements proviennent sans doute de ce que les ailes trouvent une plus grande résistance au fond de l'eau qu'à la surface. Par conséquent si une hélice à un filet à droite, l'aile au fond de l'eau poussera plus l'arrière sur tribord, que celle à la surface ne le fait sur bâbord, et en marchant en avant le navire aura une tendance à venir sur bâbord. Quand on est en marche cet effet est compensé par la barre ; mais en reculant il ne l'est pas, le gouvernail est impuissant même sur un navire à roues : l'abattée est dans un sens inverse, et un filet à droite fait venir sur tribord. Il résulte de ces propriétés de l'hélice des difficultés de manœuvre qui doivent être étudiées et qui, si elles gênent dans certains cas, sont utilisées dans d'autres. Il faut également observer que l'hélice stoppée annule presque l'action du gouvernail et que, pour conserver à ce dernier son effet naturel, il faut que l'hélice suive en tirebouchonnant dans l'eau sans produire d'impulsion.

UTILISATION RELATIVEMENT AU CHARBON.

Si j'ai souvent insisté sur le bon emploi et sur l'économie du combustible ce n'est pas que je le considère seulement comme un moyen dispendieux de marcher, mais plutôt comme une ressource précieuse, et dont l'approvisionnement restreint est long à renouveler. Marcher doucement est souvent arriver plus vite à la vapeur, et un navire se rendant à une destination lointaine perd des journées entières pour s'être trop pressé; dans les ports de relâche on ne trouve pas le charbon prêt à embarquer, il faut souvent faire des recherches pour l'acheter, puis le mettre dans des chaloupes pour le conduire à bord. Si plusieurs navires ont besoin de charbon, les lenteurs sont en raison de leur nombre : à combien de jours

d'inaction seront forcés douze ou quinze vaisseaux arrivant ponr fairs leur plein de charbon ! L'ennemi qui aura vn leur fumée et leur hstterie élevée sur l'eau saura qu'ils ne peuvent sortir. Il en est de même pour des transports de troupes à de grandes distances, et le navire qui par une marche plus lente et par conséquent par une plus grande utilisation de son combustible et de ses voiles, sera arrivé le dernier, n'en repartira pas moins le premier pour faire un nouveau transport : il effectuera plus de voyages dans le même temps. L'emploi judicieux du combustible est donc devenu l'une des études les plus importantes de l'officier de marine, car c'est lui qui dirige, et le mécanicien, qui ne fait qu'exécuter, a très-pen d'influence sur la consommation du charbon.

Il a été déjà question (page 385) de l'utilisation des navires à vapeur, par rapport à la consommation de charbon, et si cette méthode n'est pas applicable anx calculs destinés à déterminer les rapports entre la machine, le navire et le propulseur, qui donnent, à hien dire, l'utilisation théorique (tableau VIII), elle présente du moins le résultat économique de l'ensemble et montre si, dans la production de la force comme dans son emploi, on a tiré tont le parti de la cause première de cette force, c'est-à-dire du charbon brûlé dans un temps déterminé. Ce mode d'évaluation présente en outre plus dc précision, en ce qne les quantités de charbon brûlé sont assez bien pesées et qu'il n'a pas les inexactitndes et les irrégularités inévitables de l'estimation des forces, soit par l'indicateur, soit par le calcul. Après avoir opéré dans ce but sur les navires marchands anglais (tableaux III et IV), comme je l'ai expliqué page 385, j'ai tenté de le faire en cherchant dans les rapports sommaires de presque tous les vapeurs de la marine, quelles avaient été leur vitesse moyenne et leur consommation par heure pendant les années 1852, 1583, et pendant le premier trimestre de 1854 . J'ai eu soin d'omettre les croisières et les navigations en escadre, à cause de leur irrégularité. Chaque sorte de navire a été groupée et portée avec ses dimensions principales (tableaux V et VI), et son déplacement en charge a été considéré comme invariable; car il serait presque impossible de l'avoir pour tons les tirants d'eau, suivant ia quantité de charbon brûlé. J'y ai joint les diamètres des cylindres, leur course et le nombre de coups de piston de leur puissance nominale. Enfin, d'après la formule $\frac{V^3 \times \text{déplacement}^{\frac{2}{3}}}{\text{charbon en } 1^h}$, j'ai calculé l'utilisation économique de cbaque navire.

En parcourant les résultats des utilisations ohtennes, on remarque de

grandes différences tant pour le même navire qu'entre des bâtiments semblables. Il ne faut pas en être étonné, puisque cette sorte de coefficient est influencée par toutes les chances de la navigation; qu'elle est diminuée par le vent debout et très-augmentée par la brise favorable. Les navires à roues ont été groupés sur le tableau V, et on voit combien les frégates ont plus d'utilisation que les corvettes de 220, et celles de 160 et au-dessous. Cependant les corvettes de 200 chevaux présentent des résultats supérieurs à celles de 220. Cela provient sans doute de ce que leur puissance relativement au tonnage étant plus considérable, leurs machines éprouvent moins d'obstacles et ne perdent pas autant de force par l'excès du recul; car un tonnage trop fort pour le moteur équivaut à un vent contraire et diminue nécessairement l'utilisation. Si cette influence est peu sensible pendant les expériences effectuées ordinairement de calme, elle l'est beaucoup pendant la navigation, en ce que les vents debout arrêtent complétement les navires qui n'ont pas de force, tandis que les autres font route. Le résumé placé au bas de la page, et formé des moyennes générales des trois années et de tous les navires du même rang, porte en outre le charbon consommé en moyenne pour parcourir un mille et celui nécessaire au transport d'un tonneau de déplacement à la distance d'un mille : cette dernière quantité est le travail effectué par le combustible, sans tenir compte de la vitesse; elle diffère donc de l'utilisation et se trouve quelquefois à l'avantage du mauvais marcheur. Elle montre encore combien les grands navires sont supérieurs aux petits; cette différence est encore plus marquée si on s'élève aux vaisseaux portés sur le tableau n° VII.

J'ai formé d'une manière semblable la table VI, destinée aux navires à hélice : elle présente de plus grandes différences dans les utilisations; c'est sans doute parce que la voilure joue un rôle important sur beaucoup de ces navires, et que, d'un autre côté, plusieurs, ne chauffant pas toujours, n'ont fait usage de la machine qu'avec le calme ou le vent debout. Il ne faut donc pas regarder ces résultats comme aussi exacts que ceux des navires à roues, qui ont toujours les feux allumés et tirent peu d'avantages de leurs voiles. C'est ce qui m'a porté à établir un dernier tableau (n° VII), uniquement basé sur les observations faites pendant les expériences et sans faire usage des voiles.

Le service des paquebots des messageries impériales présente des documents beaucoup plus réguliers que celui des navires de l'État. Aussi j'ai été heureux de devoir les éléments du tableau n° V *bis* à l'obligeance

de M. De Lacour, ingénieur de la marine, directeur des ateliers de la compagnie. On remarque combien les résultats des utilisations de ces paquebots sont supérieurs à ceux de la marine. Cela tient probablement à plusieurs causes, telles que la légèreté des coques et les formes adoptées par M. Moissard, auquel on doit l'organisation première de cette vaste entreprise et la construction de tout son matériel primitif ainsi que celle du *Faon* (pages 133 et 142) et des meilleurs paquebots de France. La qualité probablement meilleure du combustible et la régularité du service dans les mêmes parages sont aussi à l'avantage des résultats et surtout en garantissent l'exactitude. Le tableau qui résume ce vaste service offre donc beaucoup d'intérêt et montre combien les marches et les utilisations ont été améliorées par l'augmentation de puissance obtenue en remplaçant les chaudières à carneaux par celles à tubes.

Si l'exposant de charge diminué du poids de la machine et du combustible, c'est-à-dire ce qu'un bâtiment porte utilement, était employé au lieu du déplacement, on verrait que les petits navires ne portent rien pour ce qu'ils dépensent, relativement à ce que font les grands dans les mêmes circonstances. Il est donc naturel d'en conclure que les transports de troupes ou de munitions effectués par les navires à vapeur d'une forte dimension, sont aussi économiques que ceux opérés par les petits sont ruineux; et à cela s'ajoute la limite moins étendue des traversées de ces derniers; ils sont forcés de s'arrêter pour faire du charbon, tandis que les autres atteignent le but. En n'allant pas plus vite qu'un 450, *le Napoléon* effectuerait un aussi long trajet de calme, quoique la frégate à roues ait douze jours de charbon à toute volée, et qu'il en porte à peine cinq. *Le Napoléon*, ne filant que 8 nœuds, parcourra une distance égale à 2,34, celle qu'il franchirait à toute volée, et de plus il ne resterait pas en route s'il éprouvait des vents contraires, comme l'a montré son remorquage du *Jean-Bart*. Tous ces faits viennent à l'appui de ce que j'ai dit plus haut sur les avantages des grandes puissances; ils font regarder les navires au-dessous des grandes corvettes rapides comme des inutilités dispendieuses, puisqu'ils n'ont ni force militaire, ni vitesse, et qu'ils ne peuvent aller loin. *L'Ariel* est le seul aviso rapide; tous les autres seraient interceptés par les vaisseaux tels que *le Jean-Bart*, et pour s'en convaincre il suffit d'examiner les résultats des tableaux.

En considérant les navires à vapeur sous le rapport de leur force militaire et de leur vitesse, les différences sont encore plus sensibles. Pour opérer le calcul, il faudrait prendre le poids total des canons et acces-

soires, ainsi que des munitions de guerre, le multiplier par le cube de la vitesse et diviser ce produit par le charbon brûlé. On verrait qu'au-dessous des grandes frégates, le résultat est si faible que les petits navires sont très-onéreux, et qu'il est très-heureux qu'on n'en construise plus. En effet, les gouvernements ne font que de vastes opérations, excepté le transport de leurs dépêches; il leur faut donc de grands bâtiments; ils sont dans le cas des compagnies dont les navires augmentent de dimension à mesure que leurs affaires deviennent plus importantes.

La comparaison de ces tableaux avec ceux donnés pour les navires marchands anglais I et II, ne saurait être d'aucun intérêt, en ce que les documents employés pour établir ces derniers, ne portent pas le déplacement, mais seulement le tonnage, qui est entré dans les calculs comme représentant un volume, tandis que dans ce qui regarde la marine française on a employé la puissance $\frac{2}{3}$ du déplacement, qui exprime une surface. C'est pour cette raison que les utilisations des navires anglais paraissent si supérieures aux nôtres; mais elles n'ont par le fait aucun rapport. Il y a aussi quelques inexactitudes dans les tableaux anglais, à cause de la différence des sources auxquelles il a fallu puiser; les mesures, en apparence les plus simples, se prennent différemment et amènent à des variations dans les résultats.

Pendant très-longtemps on n'a fait aucune attention à la quantité de charbon brûlé, la plupart des procès-verbaux de recette ne mentionnent même pas ce qui a été consommé. Tant qu'on n'allait qu'à Alger ou dans le Levant, on en avait toujours assez, puisqu'on en trouvait partout; mais quand les voyages se sont étendus à l'Inde et à la Chine, sans savoir où trouver des ressources en combustible, on s'est étudié à en tirer tout le parti possible, et c'est parce que je me suis trouvé dans cette position que mon attention a été appelée sur cet objet important; c'est aussi dans ce but que j'ai établi tous ces tableaux, afin de faire ressortir des faits utiles et surtout d'attirer l'attention sur une manière d'évaluer avec plus d'exactitude les services rendus par une machine. Les données qui m'ont servi ne sont pas aussi exactes que si elles avaient été prises dès le principe dans le but proposé : on en obtiendra de bonnes dans des expériences de recette en mesurant rigoureusement le charbon. Ce sera une excellente manière d'apprécier les appareils fournis à l'État, et de reconnaître ceux qui, brillants dans les expériences, deviennent ruineux à l'usage. Tant de causes influent sur la navigation qu'il sera difficile plus tard de juger d'après cela la conduite des capitaines et des mécani-

ciens, à moins de reporter les observations sur un laps de temps assez long pour établir une probabilité. Le vent et plus encore peut-être la manière dont navigue le capitaine ont une grande influence; aussi ne faut-il considérer comme réellement intéressantes que les moyennes générales portées au bas du tableau.

Lorsque des appareils à vapeur sont commandés aux fabricants, il serait très-utile de faire entrer la consommation de combustible dans les marchés. On en sait assez maintenant pour prévoir la quantité brûlée d'un charbon déterminé, et si on fixe les dimensions et le poids de l'appareil, pourquoi ne pas déterminer aussi celui du combustible? car une machine légère devient lourde par le fait seul qu'elle brûle beaucoup de charbon. Le cheval de vapeur coûterait peut-être un peu plus cher, mais cet excès de prix serait compensé en un mois ou deux de chauffe. La refonte de toutes les grilles des foyers du *Gomer* a été compensée par cinq jours de chauffe. Il n'y a pas de petite économie pour une consommation journalière aussi considérable que celle du charbon.

INFLUENCE DE LA DIMENSION DES NAVIRES SUR LEUR MARCHE ET SUR LEUR UTILISATION.

Les nombres portés sur les colonnes du tableau n° VII montrent les avantages des navires de grandes dimensions et des machines puissantes; ils confirment ceux du tableau des navires à roues et ce qui a été déjà dit à ce sujet, pages 146 et 381. On y voit que pour transporter un tonneau de déplacement en filant 12 nœuds, *le Napoléon*, tout en ayant toujours une utilisation supérieure, ne dépense que la même quantité de charbon que *le Jean-Bart* en filant 9, et il ne lui faut qu'un peu plus de la moitié de ce qu'exige le même tonneau relativement au *Roland* faisant 12,5 nœuds. Les chiffres de cette colonne et de la précédente portant le charbon brûlé pour parcourir un mille, montrent clairement aussi les avantages de l'usage modéré d'une grande force, puisqu'à 13',5 le mille parcouru coûte au *Napoléon* 450^k, et qu'à 8',0 ce n'est plus que 192 ou moins de la moitié. Dans le premier cas, le tonneau transporté coûte aussi le double avec la plus grande vitesse rapportée à la plus petite. En se référant au tableau V des navires à roues, on voit que pour filer 8 nœuds *le Napoléon* dépense moins que la frégate à roues de 450 faisant 7',5, et un peu plus que la corvette de 220 bornée à 5',68. Enfin, que *le Napoléon*, ne filant que 8 nœuds, ne dépense pas le double de quelques

petits vapeurs de 120 chevaux portant le nom d'avisos, quoiqu'ils ne filent que 6',8. Il porterait donc des dépêches avec la vitesse des frégates et des corvettes, sans brûler beaucoup plus. Si on établit la comparaison avec le charbon consommé pour transporter un tonneau à un mille, on voit des différences encore plus grandes, et toutes à l'avantage des grandes dimensions et de la finesse de forme du *Napoléon*. Il est vrai de dire que l'appareil et les chaudières du *Napoléon* servent depuis peu de temps, tandis que ceux des frégates sont déjà vieux; mais la différence est trop grande pour ne pas assurer un avantage réel et durable.

M. Le Bouleur de Courlon, ingénieur de la marine, qui avait dirigé les expériences du *Roland* (page 418), a réuni à ce sujet des données intéressantes et les a groupées d'une manière très-ingénieuse. Il rappelle 1° qu'on désigne par K la résistance du navire par mètre carré de maîtresse section et par mètre de vitesse par seconde; 2° qu'on admet que la résistance totale R est proportionnelle à la résistance élémentaire K, à la surface du maître couple B^2 et au carré de la vitesse en mètres : d'où $R = KB^2V^2$. 3° On appelle résistance relative d'un bâtiment dont le maître couple est B^2 et le diamètre d'hélice d, l'expression $\frac{KB^2}{d^2}$, 4° donc le travail en 1″ pour la vitesse V est $KB^2V^2 \times V$ ou KB^2V^3. 5° Le travail sur les pistons est donné par la formule $7.117D^2CN(p-6)$, et enfin, 6° l'utilisation est le rapport des deux expressions, c'est-à-dire $\frac{KB^2V^3}{7.117D^2CN(p-6)}$. D'après cela, M. Le Bouleur a dressé un tableau qu'il a reporté sur la courbe représentée figure 41, page 506, formée en prenant les surfaces plongées B^2 pour abscisses et portant comme ordonnées les utilisations.

La série des points portés sur cette figure présente une régularité remarquable et très-rare en pareilles matières; deux seulement s'écartent de la ligne, et ce sont ceux relatifs aux navires les mieux expérimentés, *le Roland* et *le Napoléon*. Mais leurs hélices ont des directrices courbes, et d'après les expériences du *Pélican*, ces propulseurs ont 5 pour 100 d'utilisation de plus. Si donc on réduit leurs résultats de cette quantité, ils se retrouvent sur la courbe générale.

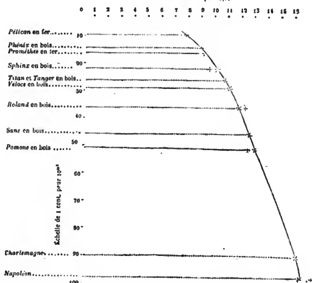
Cette courbe démontre par sa continuité 1° que les utilisations croissent très-rapidement avec les surfaces plongées du maître couple; 2° que par calme et belle mer le plus ou le moins d'allongement ou de finesse n'a pas d'influence appréciable[1]; 3° que les machines et les propulseurs

1. Sauf *le Charlemagne*, tous les navires observés avaient des façons assez fines pour pré-

(hélices ou roues) des bâtiments de la flotte sont établis dans des conditions d'égale efficacité.

La courbe permet de ramener toutes les résistances relatives à celles d'un navire, *le Pélican*, par exemple, et de calculer aisément le recul des hélices au moyen de ceux constatés pour cet aviso. Cette courbe facilite donc beaucoup les calculs d'établissement des machines en ce qu'elle résume très-clairement tout ce qui a été observé à cet égard.

Fig. 41.



M. Le Bouleur a eu l'idée d'appliquer aux navires à voiles les mêmes calculs qu'à ceux à vapeur d'après leurs expériences, et de déterminer la surface de voilure qui, pour chaque maître couple immergé, devrait imprimer la même vitesse au bâtiment. La résistance à la marche se trouvant égale à la force d'impulsion peut être regardée comme proportionnelle à la surface de voilure; d'après cela, et en admettant que tous

senter de grandes analogies, et ils ne diffèrent pas assez pour rendre le principe énoncé bien certain.

les navires aient la même marche, M. Le Bouleur a construit une courbe donnant les surfaces de voilure nécessaires, en se rapportant au vaisseau de 80, modèle Sané. Il a porté à côté les surfaces réelles; les unes dépassent celles de sa courbe, les autres sont moindres; mais en général celles déterminées par sa méthode sont en moyenne les mêmes que dans la nature. Le tracé relatif aux voilures offre beaucoup d'analogie avec celui des machines à vapeur. (Tout ceci est extrait d'une notice de M. Le Bouleur.)

J'ai appliqué la méthode de M. Le Bouleur aux données citées page 381 sur les traversées moyennes entre l'Angleterre et l'Australie par des navires de tonnages différents. J'ai déduit les vitesses de la durée du trajet et pris pour abscisses une échelle de 0m,02 pour 10 mètres carrés d'une surface quelconque obtenue en prenant la racine carrée du tonnage, et 0m,01 pour les ordonnées représentant les vitesses. Il en résulte une ligne à peu près droite et faisant un angle d'environ 45° avec les deux lignes. Pour les utilisations en charbon des tableaux V et VI, la même méthode a donné de grandes différences en faveur des machines puissantes relativement au navire, et si l'utilisation varie peu de calme suivant les formes des navires ni la force des machines, il est loin d'en être de même en cours de navigation.

CHAPITRE VII.

CONDITIONS GÉNÉRALES DES MACHINES A HÉLICE.

L'adoption de l'hélice a modifié entièrement la disposition des appareils à vapeur, et même leurs conditions de marche; on en a une idée en parcourant les planches et les descriptions des nouvelles machines et les comparant à celles détaillées dans le *Dictionnaire de marine à vapeur*. On y remarque toujours des pistons, des cylindres et des tiroirs; mais les positions et les renvois de mouvement sont tout à fait changés. En effet, avec les roues on avait à faire tourner lentement un arbre transversal, placé à la partie la plus élevée du navire, et avec l'hélice, il faut entraîner rapidement celui placé au fond de la cale et parallèlement à la quille. Tout a donc été retourné dans les deux sens. A ces différences qui frappent l'œil, d'autres conditions sont venues s'ajouter et modifier non-seulement l'ensemble, mais beaucoup de détails des appareils; et bien que de longues descriptions aient été données plus haut, il convient, je crois, de présenter les principales conditions de ces nouvelles machines.

MACHINES ASSORTIES AUX NAVIRES.

Il serait à souhaiter que l'ingénieur chargé de la construction d'un navire eût le droit de choisir le genre d'appareil qui lui convient et même le fabricant, lorsque ce serait possible. Tout se lie tellement dans un vaisseau, qu'on ne saurait apporter trop de soins à obtenir l'harmonie nécessaire à son admirable ensemble. Réunir une machine à un navire sans les avoir préalablement combinés, est s'exposer aux mécomptes éprouvés à plusieurs reprises, tant pour la stabilité que pour beaucoup d'autres qualités nécessaires, et s'imposer des sacrifices sur les approvisionnements ou sur la force militaire. Le vaisseau n'est pas fait pour la machine, mais bien celle-ci pour le navire; ne pas les combiner à l'avance et surtout ne pas subordonner, dans les limites convenables, l'appareil moteur à la construction maritime, est agir au hasard. La question est assez avancée maintenant, et nos ingénieurs connaissent trop bien les

machines à vapeur pour ne pas être à même d'établir un choix plus éclairé que le fabricant, qui n'a pent-être vu la mer que dans quelques expériences de recette, et qui surtout ne s'est plus occupé de son appareil dès le lendemain de son payement. Il ne sait donc pas lui-même les qualités et les défauts de son œuvre; s'il les apprend, ce n'est que par des tiers. Tandis que l'ingénieur qui répare tous les jours les avaries, et le marin qui les épronve, savent mieux les apprécier; ils possèdent de meilleurs éléments pour juger ce qui leur convient. Les fabricants éloignés des ports ont plus de chances de se tromper que ceux qui résident sur le bord de la mer, et qui voient revenir leurs machines à chaque traversée ponr réparer les moindres avaries; ils parviennent ainsi à corriger leurs nouvelles constructions. Ceux-là aussi ont des chances d'apporter des améliorations utiles, puisqu'ils connaissent mieux les besoins de la navigation. Je crois que c'est à cette position maritime que les ingénieurs mécaniciens anglais doivent en grande partie leur supériorité.

Parmi les conditions importantes des appareils à hélice, il y a lieu de signaler surtont la solidité de toutes les parties, la rigidité des lignes de rotation, l'étendne des surfaces frottantes, le peu d'espace occupé dans le navire surtout dans le sens de largeur, et la simplicité des renvois de mouvement. Dans la description des divers appareils, on a vu que ceux de M. Penn, de M. Mazeline et de M. Dupuy de Lôme, remplissent ces conditions mieux que les autres. Aussi est-il à souhaiter qu'ils soient généralement adoptés; car si la variété des systèmes produit quelques améliorations, elle n'en est pas moins fâcheuse pour la marine. Si, pour un genre de machine nonveau, tel que celui destiné à l'hélice, il a été utile dans le principe de laisser les fabricants se livrer à leurs inventions, il n'en est plus de même actuellement que l'expérience permet de faire un choix. L'Angleterre a d'abord admis tous les systèmes (page 255), mais sa marine s'en tient maintenant à ceux de M. Penn et de M. Maudslay (voy. pages 367 et suivantes): en France, les machines à hélice dont on a obtenu les meilleurs résultats sont celles de M. Mazeline. Pourquoi rester dsns le doute et faire de nouveaux essais, lorsque la question est pour ainsi dire résolue, et les conditions générales nettement déterminées? Tout est si important dans une machine qu'il reste encore bien des perfectionnements de détail à effectuer sur un modèle adopté. Certes on ne saurait prétendre, par cette régularité, à ce qu'une pièce d'une machine soit employée pour une autre et qu'il suffise de la demander à un atelier pour être mise aussitôt en place: les

machines à vapeur exigent trop de précision, elles sont devenues de grandes pièces d'horlogerie : mais au moins on les placerait de la même manière dans la cale et chaque navire n'aurait pas un arrimage particulier.

SIMPLICITÉ DES APPAREILS.

Sur mer la simplicité des renvois de mouvements est très-importante; il s'agit toujours de faire tourner un arbre au moyen des pistons, il faut donc y arriver avec le moins de pièces possibles. La disposition la plus ingénieuse et la mieux exécutée, qui ferait honneur à son inventeur à terre, expose quelquefois à des accidents sur mer. C'est surtout par cette simplicité que toutes les machines de M. Penn ont obtenu la préférence. Les complications sont surtout à éviter pour les divers organes, et puisqu'une pompe à air se meut au moyen d'une simple tige clavettée, pourquoi la faire marcher avec une série de vilebrequins, de bielles et de balanciers? Il arrive, souvent en regardant une machine, de se dire : Il y a trop de godets. Si tous les organes nécessaires au fonctionnement étaient entraînés ensemble sans articulations, ce serait un grand bien. On objecterait, il est vrai, que si ce mouvement commun manque, tout s'arrête : mais il faut le faire assez fort, et d'ailleurs il suffit de l'avarie d'un seul organe important pour arrêter une machine.

Ce qui est très-difficile à exécuter s'éloigne généralement des formes naturelles et manque quelquefois de solidité et de durée. En outre si une pièce de cette nature est avariée, elle devient irréparable par les moyens du navire et par ceux des ateliers ordinaires, elle réduit donc à l'inaction le navire éloigné et retient celui qui est dans le port. Aussi, quand on emploie de tels moyens, il faut leur donner une force et une solidité à l'abri de toutes chances.

Ces raisons ont souvent engagé à n'employer que deux cylindres au lieu de quatre : comme dans presque tous les premiers appareils puissants. Il y a pour appuyer chacun de ces systèmes des raisons très-plausibles; les deux cylindres n'entraînent pas à des complications d'arbre d'une exécution difficile, ou à des interruptions qui diminuent la liaison des mouvements : il leur suffit d'une manivelle simple et d'un vilebrequin; leurs paliers, moins nombreux, sont plus larges. Ils nécessitent moins de complications dans le mécanisme des tiroirs et présentent une moins grande surface réfrigérante, pour une puissance égale. D'un autre côté quatre cylindres donnent plus de régularité au mouvement de rota-

tion, ils permettent à trois d'entre eux d'agir en cas d'avarie; leurs pièces moins fortes sont d'une réparation praticable hors de France; ils permettent aussi quelquefois de faire l'appareil très-étroit. Cette question importante ne sera décidée que par une longue pratique. Dans l'état actuel, les machines à deux cylindres sont sans contredit préférables sous le rapport mécanique; mais celles à quatre conviennent mieux à la navigation; si l'ingénieur préfère les premières, le marin a de la tendance vers les secondes, en ce qu'il y trouve plus de facilités pour continuer à marcher en cas d'avaries, et pour mieux proportionner la dépense aux besoins variés de la navigation. Comme la détente à des limites, on ne peut marcher avec deux machines aussi doucement qu'on le voudrait; tandis qu'en démontant deux des quatre cylindres et détendant, on réduit davantage sa force.

Les machines compactes occasionnent des embarras aux mécaniciens, et excitent leurs plaintes; mais si on entendait celles de la membrure et de toute la charpente d'un navire dont les poids sont mal distribués, on passerait par-dessus les premières. Quand tout est solide et bien entretenu, les démontages de pièces sont très-rares, et s'il n'y a pas d'articulations dans les parties inférieures, il devient inutile de les rendre très-accessibles; il faut donc rechercher les dispositions qui n'en placent que vers le haut de l'appareil.

AVANTAGES DES MACHINES ÉTROITES.

Sur les bâtiments de guerre il vaut mieux que l'appareil moteur occupe plus de place en suivant la direction de la quille qu'en travers, parce que c'est dans ce dernier sens que la déformation de la charpente est plus sensible, surtout dans les fonds plats où repose la machine. Les bâtis ne résisteraient pas longtemps à de tels efforts, et s'ils étaient assez solides pour le faire, leurs points de jonction joueraient. On l'a tellement prévu que, pour des appareils très-larges, on a proposé de ne les unir aux carlingues que sur un peu plus du tiers de leur largeur; mais alors les cylindres, en produisant leur effort sur l'arbre, agissent sur un plus grand bras du levier libre et tendent à ébranler les jonctions de la machine au navire. Au contraire, un appareil étroit n'étant lié qu'à une petite longueur des varangues, ne souffre pas autant de leur déformation. On peut objecter qu'il sera exposé à celle due à la courbure de la quille, mais celle-ci n'est pas changée à chaque coup de roulis et elle n'est pas

assez forte pour influer sur une aussi petite longueur. Que la machine soit large ou longue, l'arc du navire n'influera pas moins sur elle à cause de l'arbre qui s'étend jusqu'à l'arrière et qui, s'il n'est plus dans l'alignement des paliers, les fatigue beaucoup, ainsi que les soyes de manivelles. L'effort du grand mât tend à courber la quille, et si la machine est sur l'avant, il la déprime dans le même sens que l'arbre; mais ils n'en sont pas plus en ligne droite pour cela. Cependant l'effet est moins sensible que si elle est placée sur l'arrière du grand mât, parce que, tandis que l'arc laisse tomber l'arbre de l'arrière, la courbure de la quille l'entraîne vers l'avant. C'est une des principales chances d'échauffement du dernier palier et de fatigue de la dernière soye de manivelle. Si l'angle devenait trop marqué, il y aurait même à redouter des ruptures. Il y a une de nos machines qu'il a fallu relever déjà deux fois, et, quand le vaisseau sera vieux, un démontage général deviendra peut-être nécessaire. L'usage d'un joint universel sur l'arbre de l'hélice obvie à toutes les variations; l'arbre et les paliers ne seraient plus dans le même axe qu'il n'en résulterait aucun inconvénient. Les appareils étroits se placent de l'arrière et dans les façons du navire où l'espace est moins utilisé pour l'armement, leurs arbres sont plus courts et ils abandonnent aux chaudières les parties où les varangues plates permettent de les placer plus au-dessous de la flottaison et mieux à l'abri du boulet. Cette dernière condition devient très-importante à bord des navires de dimension moyenne, où le manque de creux ne permet pas toujours d'abriter réellement les chaudières actuelles.

SOLIDITÉ DE TOUTES LES PIÈCES.

La solidité est plus nécessaire que dans les anciens appareils, tant parce que les pressions usitées sont plus élevées, que parce que le mouvement beaucoup plus rapide des pistons tend à ébranler violemment toutes les parties. Nous laissions du jeu dans nos paliers avec 15 à 16 coups de piston par minute; il ne saurait en être de même avec 40 ou 45; les boulons n'y tiendraient pas longtemps, et les arbres, changeant de direction, gripperaient leurs coussinets. C'est pour obtenir l'immobilité de ces derniers qu'on les coince à contre du serrage des clavettes. La rigidité des bâtis est aussi plus importante, afin qu'en maintenant d'une manière invariable les arbres dans leurs axes, ils préservent les coussinets des porte-à-faux et par suite des

échauffements. Si tout ne tourne pas exactement dans les lignes de centre voulues, les pièces s'échauffent et la machine ébranlée à chaque instant éprouve des avaries. Cette rapidité de mouvements inverses, ces efforts énormes qui, dans une minute, tirent et poussent 45 fois dans un sens et 45 dans l'autre, nécessitent cette rigidité et surtout cette exactitude de montage, ainsi qu'une abondance de graissage beaucoup moins nécessaires jadis. Le désir de faire des appareils légers et accessibles dans toutes leurs parties a souvent fait négliger ces précautions, et il en est résulté quelquefois des avaries et des échauffements presque permanents.

Dans une chasse, l'appareil marin doit se comporter mieux qu'une locomotive; il ne peut s'arrêter pour serrer ou desserrer une clavette, et prévenir de ses avaries par le télégraphe. Il faut qu'il fasse une longue course à fond de train, sans arrêter un instant et par conséquent sans rien corriger : machine et chaudière fournissent leur maximum de force; une fuite, un échauffement toujours croissant deviennent une cause de perte. Il faut donc une grande perfection de toutes les parties et une conduite éclairée pour éviter ces chances désastreuses. Sur mer où la fumée décèle la présence à de grandes distances, les chasses seront très-longues, à moins de grandes différences de marches, et si les machines ne sont pas capables de les supporter, elles causeront la perte des navires. Les expériences de recette devraient donc être faites dans de pareilles conditions et avec d'autant plus de rigueur, qu'elles ont lieu au moment où tout est neuf et parfait et qu'il ne faut s'attendre ensuite qu'à des mécomptes toujours croissants.

VITESSE DE MOUVEMENT DES PISTONS.

Les inconvénients des grandes vitesses de piston ont encore souvent entraîné à l'adoption des engrenages, quoique leur emploi exige des machines très-volumineuses et très-lourdes; car si par le rapport des roues la machine ne fait que le quart du nombre de tours de l'hélice, il faut nécessairement que le volume engendré par le piston soit quadruple, et que toutes les pièces mobiles ou de charpente supportent également un effort quadruple. La machine elle-même pèse donc quatre fois autant, et à cela s'ajoute le poids de l'engrenage et le volume qu'il occupe. Il n'y a que la chaudière qui reste la même, puisque si elle fournit de la vapeur à un cylindre quatre fois plus grand, elle ne le fait que quatre fois moins

souvent dans le même temps : aussi ces machines pèsent près d'un tonneau le cheval, comme les appareils à roues; tandis que celles à mouvement direct n'ont que 500 à 600 kilogrammes de poids par cheval nominal. Malgré ces inconvénients graves, on emploie encore les engrenages, parce que les mouvements lents sont moins sujets à des avaries et fonctionnent plus longtemps, conditions que le commerce a cru devoir souvent admettre pour assurer la régularité du service. Pour abandonner les engrenages sur les petits navires rapides, il faudrait en venir à employer la haute pression et des appareils de locomotives, comme on l'a fait en Angleterre sur *l'Avon* et *le Severn* (page 383). La limite à la vitesse des pistons n'est pas encore établie, mais, dans l'état actuel, il est convenable de ne pas la pousser trop loin.

INFLUENCE DU PAS DE L'HÉLICE.

On est conduit de la sorte à employer des hélices à pas allongé et d'un grand diamètre; elles sont plus lourdes, tourmentent davantage l'arrière du navire, et elles exigent un arbre beaucoup plus fort, puisqu'il pousse plus obliquement. Pour tourner une vis, il faut naturellement d'autant plus forcer sur sa clef que son pas est long; c'est comme pour monter un plan incliné plus rapide. Par conséquent, si la vitesse du piston et le nombre de tours sont fixés, il faut augmenter le volume des cylindres en accroissant le pas, aussi bien qu'en adoptant des engrenages et pour un pas double il faudrait des cylindres doubles. Sur *le Napoléon*, s'il avait été possible de doubler le pas sans changer les conditions, l'engrenage eût été supprimé; mais il aurait fallu avoir l'arbre plus fort et conserver les cylindres. Que l'obstacle à la force provienne d'un bras de levier ou d'un plan incliné, c'est la même chose pour l'effet à produire; il n'y a de différence que dans l'intermédiaire des roues dentées qui, nécessaire dans un cas, ne l'est pas dans l'autre. Pour une même force des pistons, il y a moins d'impulsion donnée avec un grand pas, mais aussi moins de tours; pour un pas raccourci, c'est l'inverse (voy. 251, au bas de la page).

D'un autre côté, les pas longs sont seuls convenables pour une hélice qui ne se démonte pas, parce qu'ils la laissent tourner facilement lorsqu'elle est affolée; si elle avait été difficile à visser, elle n'en est que plus facile à dévisser; c'est encore comme pour descendre sur un plan incliné. Aussi ces hélices tournent avec une vitesse de 3 nœuds,

tandis que celles à pas raccourci s'arrêtent à 5 nœuds, et par conséquent elles exigent le percement d'un puits pour être démontées et ne pas devenir un obstacle à la marche avec des circonstances de navigation très-fréquentes. La marine anglaise emploie des pas plus courts que nous : aussi elle a généralement adopté les puits.

Le cercle de l'hélice (page 52) comprend la quantité d'eau sur laquelle agit le propulseur, et la perte de force par le recul (281) est due au mouvement inutile imprimé à cette eau; elle dépend donc de la masse remuée et de la vitesse imprimée. Il paraîtrait d'après cela que si l'on avait deux hélices, dont une eût 5 mètres carrés pour la surface de son cercle d'action et 10 pour 100 de recul, la perte serait la même que pour une autre hélice n'ayant que $2^m \frac{1}{2}$ carrés de surface de cercle et 20 pour 100 de recul; dans un cas, la masse d'eau remuée ne serait que la moitié de ce qu'elle est dans l'autre, mais la vitesse de son mouvement serait double, et comme l'inertie résiste en raison de la masse et de la vitesse, la perte de force serait la même. Si cela est exact, il y aurait peut-être profit à employer des hélices plus petites, tournant plus vite : l'économie sur leur poids et sur celui des arbres compenserait une partie de l'engrenage et déchargerait l'arrière. Seulement il est douteux que des propulseurs pareils soient jamais propres à lutter contre de grandes résistances; ils tourbillonneraient probablement beaucoup plus que les grands.

En général les machines directes conviennent aux navires destinés à en faire rarement usage et n'ayant que peu de jours de charbon, comme les bâtiments de guerre ; leur poids et leur volume sont d'autant plus importants qu'on a moins de jours de chauffe; les pressions élevées leur sont également assorties. Leur rotation est très-rapide; ainsi, sur *l'Agamemnon*, la vitesse du piston est de $2^m,30$ par seconde, avec 65 coups par minute, mais aussi la machine ne pèse qu'un peu plus d'un demi-tonneau par cheval nominal, et pour ce poids elle a fait filer 11' à un vaisseau. Au contraire, pour de grands trajets, où le poids de l'appareil diminue relativement à celui du charbon, il est préférable de moins rechercher la légèreté et de se mettre dans des conditions d'une marche sûre et régulière. Ainsi les caboteurs anglais ont de grandes vitesses de piston et des pressions élevées, parce qu'ils visitent fréquemment leur appareil et sont à portée des ateliers, tandis que les vapeurs de long cours ont souvent des engrenages. Il serait plus utile que ce fût l'inverse, mais la sécurité nécessaire aux voyages lointains écartera des mouvements rapides, jusqu'à ce qu'ils soient parvenus à une perfection suffisante.

ÉTENDUE DES SURFACES FROTTANTES. — LÉGÈRETÉ DES MACHINES.

Toutes les surfaces frottantes ont une étendue beaucoup plus grande que dans les appareils à roue, tant parce que la pression de la vapeur ayant été augmentée, chaque palier supporte un plus grand effort, que parce que la rapidité du frottement tend davantage à échauffer. Comme il y a une limite au diamètre des pièces tournantes, à cause du surcroît de poids et de vitesse des surfaces l'une sur l'autre, il a fallu allonger les portages. Jadis la proportion d'une fois le diamètre était jugée plus que suffisante : maintenant on admet souvent une fois et demie. Cela entraîne à maintenir mieux les pièces dans leurs lignes, puisque les deux cylindres d'une articulation tournent l'un dans l'autre et que la moindre erreur de direction produit plus de porte-à-faux. Il en résulte aussi que ces longueurs ne sont praticables que pour les pièces naturellement rigides et maintenues dans des paliers, et qu'elles ne sont pas assorties aux soyes de manivelle : celles-ci sont comme un levier planté dans l'une des manivelles et entraînant l'autre par son extrémite. Elles ont donc un effort latéral qui tend à les courber et non à les tordre; par conséquent, si elles sont longues et faibles de diamètre, elles fléchissent, et les conssinets de la bielle, maintenus par la roideur de cette dernière, n'ont plus leur cylindre intérieur en accord avec celui que forme la soye. C'est une des causes les plus fréquentes d'échauffement, surtout sur la dernière soye de manivelle qui par sa roideur seule transmet l'effort total des machines. Aussi je crois que la disposition adoptée par M. Mazeline (page 431) est très-judicieuse, et que pour cette pièce importante il vaut mieux obtenir la surface par un grand diamètre et une petite longueur suivant l'axe, afin d'assurer la rigidité par ces deux causes.

Quoiqu'il paraisse rationnel de donner aux portions d'arbre de la machine le même diamètre qu'à celui de l'hélice, je crois qu'il serait préférable d'établir une différence, parce que l'arbre de l'hélice n'éprouve qu'une torsion régulière et n'a sur ses cousinets que l'effort de son poids, tant qu'il est d'accord avec le navire. Les arbres à manivelle au contraire ont des actions obliques et contraires, ils ont donc plus de chances de déformation. Cette nécessité de conserver les axes à leur place a porté quelques ingénieurs éclairés à préférer les arbres d'une seule pièce de forge, quel que soit le nombre de leurs manivelles (page 455), et quelle que soit aussi la difficulté de maintenir les paliers en ligne droite : en effet, là où

est une interruption, la soye n'a de roide que par un bout. Après le dernier palier, l'arbre s'amincirait alors peu à peu, pour arriver au diamètre convenable pour l'hélice. Le surcroît de poids serait compensé par la préservation des échauffements, et l'augmentation de vitesse sur les parties frottantes par une plus grande étendue de ces dernières.

D'un autre côté, si des bâtis fléchissent et permettent aux paliers de changer d'angle, tout se grippe et s'échauffe. Ce fait s'est présenté et a même été cause du refus d'admettre un appareil. Je crois qu'on y aurait obvié en faisant des coussinets cylindriques comme d'habitude sur la partie frottant sur l'arbre, mais en donnant à leur extérieur la forme d'une portion de sphère, encastrée dans des creux semblables du palier et de son chapeau au lieu de l'hexagone ordinairement adopté. Comme l'ajustage de ces parties eût été difficile, on aurait pu employer le métal antifriction. De la sorte, les changements d'angles auraient entraîné les coussinets sans produire de porte-à-faux. Déjà M. Gengembre avait employé des portages en olive avec des coussinets de même forme; mais c'était sur les parties frottantes, et la moindre action suivant l'axe, telle que le poids des arbres et des roues en donnant la bande, coinçait l'arbre entre les plans inclinés des deux coussinets et produisait des échauffements. Ce que je proposais n'était qu'un palliatif, et des bâtis rigides vaudront toujours mieux : ce serait peut-être un moyen d'empêcher les échauffements de soyes flexibles. Quand celles-ci portent des bielles à fourche, les échauffements sont plus à craindre à cause de la distance des parties frottantes. Pourquoi dans ce cas ne pas avoir la bielle à charnière comme plusieurs de nos anciennes grandes bielles sur les tés des machines à balancier ?

On a beaucoup trop recherché la légèreté dans les nouveaux appareils directs, l'abandon des engrenages était déjà un gain suffisant. Cette légèreté avait de grands avantages pour les navires qui naviguaient sans lest, chaque tonneau épargné offrait une ressource pour d'autres objets; il en est encore de même pour les paquebots à hélice, quand la solidité de l'appareil n'est pas compromise. Mais pour les vaisseaux, les conditions sont différentes, en ce que presque toujours il leur faut du lest et que, par conséquent, une partie du poids de ce dernier serait très-utilement employée à fortifier toutes les parties. C'est plutôt l'espace qu'il faut épargner, parce que c'est ce qui manque le plus dans les cales des vaisseaux mixtes. On ne sait où loger beaucoup d'objets légers, et on est réduit à encombrer les faux ponts et à en faire des sortes d'appendices de

la cale. Je crois qu'il serait utile que le poids de l'appareil fût déterminé à l'avance par le constructeur et laissé à la disposition de l'ingénieur mécanicien, pour le répartir de la manière la plus convenable dans toutes les pièces de jonction ou de mouvement de son appareil, et que s'il y a lieu d'être sévère daus l'adoption des plans, c'est plutôt pour l'espace occupé.

PERFECTION DU CLAVETTAGE.

Le clavettage doit être parfait pour éviter les ballottements et les échauffements des coussinets; son serrage exige l'attention la plus scrupuleuse du mécanicien; avec quarante-cinq coups de piston une pièce est grippée en quelques minutes et expose à des avaries graves, comme sur *la Biche*, où l'échauffement d'une grande bielle a causé la rupture des deux tiges du piston et la fêlure du cylindre. Il est bon d'avoir sur les clavettes des écrous et contre-écrous ou des freins, et de les serrer de bas en haut, parce que dans l'autre sens elles entrent d'elles-mêmes. J'ai déjà parlé du graissage (page 336) et de l'imperfection de la manière de l'effecteur; on empeste les cales en versant moins d'huile dans les godets que dans le navire, et on échauffe ses pièces parce que dans les moments de rapidité les mèches ne donnent pas assez d'huile. La consommation des matières grasses des nouveaux appareils est plus que doublée relativement aux anciens, et pourtant ils ont beaucoup moins d'articulations à graisser. Il est étonnant qu'aucun moyen mécanique n'ait été adopté : cela vient de ce que, dans les expériences, on ne tient pas compte des matières consommées; les cahiers des charges n'en parlent pas, et il est plus économique de placer de simples godets que des lubréfieurs. Mais de la sorte les cales des vaisseaux deviennent des foyers d'infection et d'insalubrité, qu'il est plus tard impossible de purifier. Les auges placées sous les articulations retiennent bien un peu d'huile; mais s'il faut arroser avec de l'eau de mer, tout déborde et se répand dans la cale et dans les moindres joints de la membrure.

JAUGES POUR CORRIGER LA POSITION DES ARBRES. — MÉTAL DOUX.

Puisque la régularité des lignes d'action est si importante, il est nécessaire d'avoir constamment sous la main des moyens de rectifications prompts et exacts. Pour cela il faudrait non-seulement de bons repères,

et pour toutes les articulations importantes des jauges exactes, rectifiées lors de la recette, attachées par des vis ou des crochets pris de chaque articulation, pour la vérifier en un instant. Cette précaution est devenue très-importante depnis l'adoption du métal doux, en ce que si celui-ci se ramollit et même se fond, l'épaisseur du coussinet est changée et par suite la position de l'axe do rotation de la pièce. Il faut donc rétablir aussitôt cet axe à sa place, sous peine de s'exposer aux avaries les plus graves.

Le métal doux n'est bon que ponr les mouvements dont la rotation est continue et les pressions uniformes. Il convient donc parfaitement aux paliers de l'arbre et de l'hélice en dehors de la machine et aux bnttées. Pour les paliers de l'appareil motenr, il est encore d'un bon usage, et même pour les grandes bielles ; mais il ne convient pas pour le pied de ces dernières, pour les balanciers et, en général, pour les mouvements alternatifs : alors il s'écrase, s'étend, et sa surface frottante se déforme. Dans de telles conditions l'usage du bronze est de beaucoup préférable, surtout maintenant qu'on a tronvé en Angleterre des alliages remarquables par la finesse de leur grain et par leur dureté.

Il est nécessaire d'avoir des repères ou des jauges pour l'arbre de l'hélice, afin que, lorsque le navire est déformé, on sache à quelle distance il se trouve du haut du manchon d'étambot, et d'éviter ainsi qu'il ne ronge son enveloppe en cnivre et l'expose à l'oxydation.

TIROIRS ADOSSÉS AUX EXTRÉMITÉS DES CYLINDRES.

Tant qne les cylindres ont été placés verticalement, les tiroirs ont été adossés à la partie arrondie; on a continné à le faire avec les cylindres horizontaux, et afin d'avoir une évacnation naturelle de l'eau introduite, on a quelquefois mis un tiroir particulier en dessous du cylindre (p. 396 et 435). Comme la vitesse des pistons nécessite maintenant de très-grands orifices, il en est résulté des tiroirs très-larges et qui n'ont pas la longueur du cylindre, de sorte qu'à chaque introduction on perd une quantité notable de vapeur pour remplir inutilement les conduits. En outre, avec les tiroirs en D comme avec ceux en coquille, on fait passer le froid dans le chaud, c'est-à-dire que la vapeur chaude circule autour de celle refroidie par la condensation et perd ainsi de sa force (page 520). Il me semble qu'on éviterait presque toua ces inconvénients et qu'on épargnerait des poids inntiles, en mettant les tiroirs dans le convercle et dans le fond du cylindre, qui se trouveraient naturellement fortifiés par

les cloisons nécessaires aux deux compartiments; de la sorte l'introduction se ferait par en haut, l'évacuation par en bas, il n'y anrait plus de pertes par les espaces nuisibles des conduits habituels, puisque ces espaces, bornés à l'épaisseur de la fonte sur l'étendue de l'orifice, seraient presque nuls. Quant au renvoi de mouvement de l'excentrique, il ne serait pas plus compliqué qu'avec deux tiroirs adossés aux parties rondes du cylindre, et le conduit amenant la vapeur aux deux orifices supérieurs serait comme une portion de chemise et ne nuirait nullement. Pour plus de simplicité, une seule détente agirait, parce qu'il importe peu qu'elle soit très-voisine de l'orifice. Comme les couvercles n'ont plus de tresses, ils se retrouvent exactement à leur place quand par hasard on les a démontés.

PERTES DE CHALEUR DANS LES CYLINDRES.

On pense que les principales pertes de chaleur sont dues au rayonnement des cylindres et au voisinage des parties maintenues froides, telles que les condenseurs. Mais il en existe d'autres à l'intérieur : elles sont inévitables et inhérentes aux fonctions de la machine à vapeur. Ces pertes sont en partie attribuées à l'humidité qui recouvre les parois comme une rosée à chaque condensation, et exerce plus d'influence que la surface du fer, qui a peu de capacité pour le calorique. Ces causes agissent activement; mais puisque c'est par des surfaces qu'on échauffe l'eau des chaudières et qu'on refroidit la vapeur dans les condenseurs tubulaires, il est permis de croire qu'elles ont aussi une influence. L'intérieur d'un cylindre et le piston sont à une températnre moyenne entre celle de l'introdnction et celle de l'évacuation; toute la force de la machine, à part la chaleur latente, est due à la différence de ces deux températures. Si l'introduction dure moins longtemps, l'intérieur du cylindre est moins chaud, et la vapeur introduite trouve des parois froides qui la condenseraient en partie, s'il n'en arrivait de nouvelle de la chaudière. Si dans un cas on introduit à plein cylindre, la température serait la moyenne entre celle du condenseur et de la chaudière, puisque chacune remplit le cylindre pendant la moitié du temps. Mais si dans une autre circonstance on n'introduit que pendant le quart de la course, il ne sera entré que le quart de la chaleur, et la température moyenne sera diminuée (voy. *Catéchisme du mécanicien à vapeur*, page 536). L'économie remarquable des machines de Woolf est due à ce

que la détente étant opérée dans un second cylindre, les températures ne varient pas autant que lorsqu'elle l'est dans un seul.

En général, en considérant les effets de l'expansion, on a eu peu égard aux changements de température qui en résultent : cependant la cause première de la force étant la chaleur, il y a perte pour l'une, s'il y en a pour l'autre; et si la vapeur est refroidie, elle a son effet dynamique diminué, comme celui de l'eau sur des augets percés de trous.

J'ai cherché à me rendre compte de cet effet en prenant les pressions des courbes d'indicateur d'une machine à basse pression à des introductions de 0,8, 0,5 et 0,15 de la course, et, comme les vapeurs qui ne reçoivent plus de chaleur et ne sont pas dans la condition d'un gaz échauffé ont des tensions qui répondent aux températures correspondantes de la table, j'ai substitué ces dernières aux pressions, et j'ai eu ainsi la température moyenne dans le cylindre, tant pour l'introduction et la détente que pour l'évacuation.

	TIROIR 0m,8 d'introduction.				3e CAME 0m,5 d'introduction.				5e CAME 0m,15 d'introduction.			
	VAPEUR.		VIDE.		VAPEUR.		VIDE.		VAPEUR.		VIDE.	
	Pression.	Température.	Pression.	Température.	Pression.	Température.	Pression.	Température.	Pression.	Température.	Pression.	Température.
	kil.		kil.		kil.		kil		kil		kil.	
	1,22	102°	0,18	58°	1,22	102°	0,15	55°	1.15	102°	0,15	54°
	1,21	102	0,19	59	1,21	102	0,15	55	0,90	96	0,15	54
	1,18	102	0,20	60	1,18	101	0,15	55	0,75	92	0,15	54
	1,15	102	0,20	50	1,13	101	0,15	55	0,63	87	0,16	56
	1,14	102	0,21	61	0,95	98	0,15	55	0,55	83	0,16	55
	1,12	102	0,22	62	0,82	94	0,15	55	0,48	80	0,17	57
	1,11	102	0,24	64	0,70	90	0,15	55	0,45	79	0,18	88
	1,07	101	0,25	65	0,65	88	0,15	55	0,39	75	0,19	59
	0,98	100	0,29	69	0,59	85	0,17	57	0,36	73	0,20	60
	0,57	84	0,50	81	0,45	79	0,45	79	0,25	65	0,25	65
Moyennes........		100°		63°,9		94°		57°,6		83°		57°
Température moyenne dans le cylindre.	81°,9				75°,8				70°,0			
Différence entre la température moyenne pendant l'introduction, ainsi que la détente et celle pendant le vide.	35°,1				36°,4				25°,7			
Différence entre la température moyenne et celle au moment de l'introduction.	20°,1				26°,2				32°,0			

En considérant les moyennes, on voit que toute la force de la vapeur, abstraction faite de la chaleur latente, est due pour l'introduction du tiroir à 100° du côté où la vapeur pousse, et à 63°,9 du côté où on lui a ôté sa pression, c'est-à-dire à la différence de ces deux nombres, qui n'est que de 36°,1. Pour la troisième cause, c'est 36°,4, parce que le vide est meilleur, et enfin pour la cinquième, c'est seulement 25°,7. La différence entre la température moyenne et celle à l'entrée dans le cylindre est pour les trois cas 20°,1, 26°,2 et 32°,0. Il en résulte qu'à la cinquième came la vapeur trouve un milieu plus froid qu'elle de 32°, tandis qu'avec le tiroir ce n'était que de 20°; elle est donc beaucoup plus refroidie et elle éprouve d'autant plus de perte que la force du piston est due à une plus petite différence de température. Par conséquent, elle est aspirée seulement pour maintenir la température, et cela d'autant plus qu'au moment de l'introduction la surface environnante du couvercle et du piston est très-grande relativement au volume. Je n'ai pu faire des observations directes à cet égard, mais il me semble que par cette manière d'opérer on arriverait à estimer les pertes de chaleur et, par suite, de force occasionnées par la détente. La chemise pleine d'air à 100° ou 120 de la machine de l'*Algésiras* de M. Dupuy de Lôme corrigera ce défaut (page 454) : si la vapeur est plus chaude que d'habitude, c'est qu'elle n'aura pas perdu sa force, et il suffira d'un peu plus d'injection pour avoir un bon vide.

LA DÉTENTE MOINS AVANTAGEUSE QU'ON NE LE CROIT.

Pendant la campagne de *l'Archimède*, en 1844, où la détente était toujours poussée très-loin, je m'étais aperçu qu'elle était loin d'être aussi économique que je le croyais, et que si la résistance du navire, en raison du carré de la vitesse, était une loi exacte, la détente avait nécessairement des pertes auxquelles on ne songeait pas. En admettant ce qui regarde la résistance de la carène, je ne me trouvais pas avoir mon compte pour la force développée relativement au charbon brûlé, et les pertes de chaleur par rayonnement ne pouvaient à elles seules produire une telle différence; c'est ce qui m'amena à expliquer les pertes, comme on vient de le voir. Depuis, les observations sur la machine à vapeur combinées de M. du Trembley ont montré les déperditions dues aux effets physiques de la détente, puisque dans ces appareils, dès que la chaleur de la vapeur a terminé son action sur le premier piston, elle est em-

ployée à vaporiser un second liquide dont la quantité transformée lui sert dès lors de mesure (voy. plus loin la notice sur les machines à vapeur combinées).

En considérant le tableau d'utilisation VII, où se trouvent différentes détentes pour *le Napoléon*, *le Rolland* et *l'Ariel*, on remarque que, pour le premier, l'utilisation n'a presque pas varié; que, pour le second, elle a diminué, et que, pour le troisième, elle a un peu augmenté en détendant la vapeur. On pourrait donc presque en conclure que l'utilisation, relativement au charbon, est indépendante de la détente; ce serait un fait curieux à vérifier : s'il est exact et que la dépense de force soit réellement comme le cube de la vitesse, il est évident que la détente ne donne aucun profit dans la production de la force, quand elle est opérée dans un même cylindre. Nous nous trompions, parce que notre mille parcouru nous coûtait moins de charbon, et que nous ne faisions pas entrer l'élément important, c'est-à-dire la vitesse. Sur *le Rolland*, on a observé qu'à toute volée et en développant 557 chevaux, on brûlait 3^k,58 par cheval et par heure, tandis qu'avec 0,4 d'introduction et en ne faisant que 204 chevaux, c'était 4 kilogrammes.

On avait déjà observé à ce sujet qu'une machine marchant à grande détente avec ses quatre cylindres brûlait autant de charbon qu'en fonctionnant à l'introduction habituelle avec seulement deux cylindres. Si ces observations sont exactes, elles renversent en grande partie ce que nous admettions au sujet de la détente, et elles porteraient à chercher une cause d'économie dans une méthode semblable à celle des machines de Woolf, en tâchant de disposer des conduits pour qu'un des cylindres détente la vapeur de l'autre. Mais, à moins de dispositions bien simples, une pareille addition au mécanisme ne serait pas admise sur mer, quels que fussent ses avantages.

POMPES A AIR A DOUBLE EFFET.

Les pompes à air à simple effet et leurs clapets métalliques sont peu assortis aux vitesses actuelles ; elles nécessitent des renvois de mouvement particuliers pour n'avoir que la demi-course des pistons : elles entraînent ainsi à plus de complications que tout le reste de la machine, et surtout elles occupent inutilement un espace précieux. Comme elles opèrent en une course ce que celles à double effet font en deux, et n'ont généralement qu'une demi-course du piston, elles opposent une résis-

tance quadruple et, par conséquent, elles exigent des mouvements beaucoup plus solides. Eu outre, comme elles ne rejettent l'eau qu'une fois par révolution, il leur faut des tuyaux de décharge d'une section double. Le poids de leurs clapets produit des chocs plus forts que ceux usités généralement pour les pompes à double effet. L'eau n'est rejetée que pendant $\frac{1}{6}$ au plus de la course; aussi la voit-on jaillir par soubresauts: c'est ce qui lui nécessite une issue plns large; et en comparant le tuyau de décharge à celui d'injection dont une partie seulement est ouverte, on remarque une différence de diamètre qui n'est due qu'à ce que l'action est continue dans un cas et alternative dans l'autre. Maintenant qu'il est prouvé que la double action ne nuit pas au vide et qu'il importe peu que le volume engendré soit en longueur ou en largeur, il est préférable d'employer les pompes à air à double effet et à course égale à celles à piston; de la sorte un bras ou même une seule tige forme tout le renvoi de mouvement, et il n'y a plus une seule articulation, au lieu des vilebrequins, du balancier, des bielles et des guides nécessaires dans l'autre cas. L'eau, déversée deux fois par révolution au lieu d'une, n'exige que des conduits d'une aire moitié de celle des autres. Les régulateurs à air agissent plus efficacement et avec de bonnes dispositions parviennent à rendre le jet presque continu et à permettre de très-petits tuyaux de décharge.

Pour diviser encore plus l'effet des pompes à air, on en met deux pour chaque cylindre (page 460); tout cela est d'autant plus important que, sur les vaisseaux, la colonne d'eau à refouler est considérable et que le tuyau de décharge est une des pièces les plus exposées à des ruptures par le travail de la muraille du navire ou par le choc des boulets. Un seul coup réduirait l'appareil à l'inaction, en ce que, si on continuait à injecter, toute l'eau tiède de la condensation serait rejetée dans le navire, et que si on ne le faisait pas, la vapeur envahirait la chambre de la machine. C'est pour éviter ces chances désastreuses qu'on a fait déborder le tuyau de décharge à un ou deux mètres au-dessous de l'eau, comme on l'a vu (page 445). Les Anglais ont adopté ce système, et au moyen de régulateurs à air ils ont d'assez petits diamètres : M. Penn ne donne que six pouces à chaque tuyau de décharge d'un de ses appareils de 400 chevaux nominaux, et le fait déboucher à trois pieds sous l'eau. Il met deux boîtes à étoupes sur chaque tuyau pour céder aux déformations. A cette profondeur il y a plus de difficulté à refouler l'eau, en ce que la veine du courant sortant est coupée par la vitesse de la mer

le long du bord avec un sillage rapide; en outre, il y aura toujours du danger à mettre des tuyaux de 30 à 40 centimètres de diamètre au-dessous de l'eau. Plus un tuyau est gros, plus il est roide et cède moins aux déformations; il est plus exposé à rompre ses collets, et il lui faut des presse-étoupes peu profonds mais très-épais.

FONCTIONNER COMME UNE MACHINE A HAUTE PRESSION.

J'ai pensé que sur les navires de guerre et avec les pressions actuelles il serait facile de remédier promptement à ces avaries et d'éviter à la machine d'être réduite à l'inaction. Pour cela il suffit de pouvoir se passer de la condensation et de marcher comme une machine à haute pression. Cette disposition vient d'être adoptée pour *le Fleurus ;* elle se composera d'une soupape à siége fermée et ouverte par une vis, établie sur un trou percé dans le condenseur; de cette soupape partira un tuyau en cuivre très-mince pour rejeter la vapeur dans la cheminée, au-dessous de la flottaison. De la sorte, si un boulet ou le travail de la muraille brise le tuyau de décharge, il suffira de cesser d'injecter et d'ouvrir cette soupape, dont l'aire est assez grande pour permettre l'évacuation de la vapeur. Un instant suffira pour opérer ce changement, et la machine avariée n'aura perdu que la moitié de sa puissance, c'est-à-dire le quart de celle de tout l'appareil; par conséquent, on sera aussi manœuvrant qu'avant l'avarie, et si on filait 10 nœuds, on en aura encore 9. Le seul inconvénient serait peut-être la détérioration des clapets en caoutchouc, s'ils restaient longtemps plongés dans de la vapeur chaude : mais c'est de peu d'importance; car on peut marcher ainsi autant qu'on le veut; il n'en résulte qu'une petite dépense de charbon, et les clapets sont bientôt changés dès qu'on a le temps de s'arrêter.

CALAGE DES MANIVELLES; ANGLES FAVORABLES A L'UNIFORMITÉ DE ROTATION.

Il a été déjà question (page 433) de l'influence exercée par la détente sur la rotation de l'arbre et de l'avantage qu'il y avait quelquefois à ne pas caler toutes les manivelles à angle droit. Dans le tracé des courbes dessinées à ce sujet, M. Cody a employé seulement les inégalités d'impulsion de la détente, et n'a pas fait entrer les influences de l'obliquité de la grande bielle. D'un autre côté, M. La Brousse avait déjà observé par des tracés du même genre que ces irrégularités de la force de rotation variaient

entre 41 et 50 pour 75 pour cent d'introduction, et 35 et 47 pour 50 pour cent avec deux cylindres; tandis qu'avec quatre pistons ces irrégularités étaient beaucoup moindres. Mais il n'avait pas mentionné l'influence des positions relatives des cylindres et des manivelles, et comme la régularité de la rotation est devenue très-importante depuis que l'hélice est employée à la place des roues, j'ai cherché à rendre compte de ces effets compliqués en traçant plusieurs courbes, exprimant l'effort de rotation suivant les positions respectives de la bielle et de la manivelle. Pour cela j'ai d'abord cherché l'influence de la bielle seule, en admettant que sa longueur était 3,12 fois celle de la manivelle, et que la pression restait la même d'une extrémité de la course à l'autre, et j'ai tracé la courbe fig. 4, pl. XIV, dont la ligne *a b* représente le cercle de la manivelle développé et divisé en seize parties, tandis que les ordonnées expriment les efforts de rotation de la manivelle à chacune des seize positions. Ayant fait un calque de cette courbe, je l'ai appelé B et appliqué sur la première nommée A, en mettant le zéro de la nouvelle sur le n° 4 de A, c'est-à-dire en admettant que les manivelles sont à angle droit, et pour chaque division j'ai fait la somme des ordonnées des deux courbes, de manière à former une autre courbe, fig. 5, exprimant l'effort total des deux machines sur l'arbre. Les manivelles de A et de B peuvent avoir deux positions, A peut être en avance ou en retard, relativement à l'autre; j'ai donc mis le zéro de A sur le n° 4 de B et construit une nouvelle courbe; l'une, en trait plein, représente cette dernière position, et l'autre en ponctué le O de B sur le 4 de A. On voit que les deux courbes se ressemblent, mais que leurs hauts et leurs bas ne sont pas aux mêmes points. Dans ce qui précède, les bielles ont été supposées situées du même côté de l'arbre, et en admettant des cylindres opposés, la courbe tracée n'a pas offert de différence, et seulement alors le trait plein a exprimé le O de B sur 12 de A, et le trait ponctué le O de B sur le 4 de A. En plaçant un calque dans cette position sur le dessin primitif, on se rendra facilement compte de ces différents effets et de ceux dont il va être question. La similitude de la courbe, dans le cas des cylindres opposés comme dans celui où ils se trouvent du même bord, est à remarquer, parce qu'on va voir qu'avec la détente il existe de grandes différences.

J'ai ensuite cherché à observer ce qui se passe aux différentes détentes et j'ai tracé des courbes théoriques d'indicateur; puis j'ai pris les pressions pour chacune des seize positions de la manivelle, et pour les détentes à 0,5, 0,4, 0,3, et 0,2 d'introduction. Admettant que la pression totale de

la courbe était exprimée par 100 et que la longueur de la manivelle l'était aussi par 100; j'ai pris pour les 16 diviseurs du cercle de la manivelle la pression à l'indicateur, et je l'ai multipliée par la perpendiculaire abaissée du centre de la manivelle sur la bielle, c'est-à-dire par le bras du levier de la manivelle à chaque position. De la sorte j'ai obtenu les nombres suivants pour chaque division du cercle et pour chaque détente :

NUMÉROS.	EFFORT DE ROTATION SUR L'ARBRE. INTRODUCTION.			
	0,2	0,3	0,4	0,5
1	2700	2700	2700	2700
2	0300	0800	5300	5300
3	0140	7800	7800	7800
4	3705	5700	7790	9000
5	2900	4200	0800	7800
6	1956	2975	3990	4005
7	980	1519	1960	2105
8	0	0	0	0
9	1900	1906	1900	4900
10	8500	8000	8000	8500
11	6600	1 0000	1 0000	1 0000
12	3705	5700	7790	9500
13	2262	3270	4524	5616
14	1219	1855	2191	2809
15	540	837	1030	1350
16	0	8	0	0

Alors, développant le cercle de la manivelle et portant ses seize divisions sur des lignes droites, j'ai élevé des perpendiculaires, et sur chacune j'ai porté proportionnellement à une échelle quelconque tous les chiffres du tableau précédent : ce qui a donné pour chaque détente les courbes des fig. 6, 7, 8 et 9, exprimant chacune l'effort de rotation exercé par une machine sur l'arbre à chaque point de sa révolution. J'ai fait plusieurs calques de cette courbe, et pour comparer deux machines placées du même bord et agissant sur des manivelles calées d'équerre, j'ai placé le calque des courbes nommées B sur le O du modèle nommé A, ce qui exprime la position relative des machines dans la nature. J'ai fait la somme des ordonnées de ces deux courbes et j'en ai construit quatre autres dont les ordonnées expriment l'effort total des deux machines sur l'arbre à chaque point de la rotation. J'ai obtenu ainsi les fig. 10, 11, 12 et 13, sur lesquelles le trait plein exprime le O de B sur le n° 12 de A, et la ligne ponctuée le O de B sur le n° 4 de A. Pour économiser l'espace sur

la planche XIV, ces courbes ont été rapprochées les unes des autres, et les lignes auxquelles elles se rapportent pour mesurer leurs diverses ordonnées sont désignées par le même nombre que la figure et réunies au commencement de la courbe par une accolade près du centre de laquelle le degré de détente se trouve écrit. En mettant une règle sur la ligne qui porte le même numéro que la figure, on cache en partie les autres courbes et on évite la confusion produite par la concentration de toutes ces figures. Elles sont d'ailleurs à une échelle trop petite pour apprécier exactement l'action des machines, mais la méthode indiquée est tellement simple qu'on peut sans peine construire les figures sur une plus grande échelle. En prenant les diverses ordonnées avec un compas, on voit les variations d'effort sur l'arbre et les irrégularités de mouvement qui en résultent. Ainsi, pour la ligne pleine et pour la détente à 0,5 d'introduction, les efforts extrêmes sont comme 10 à 16 : à 0,4 d'introduction, c'est comme 10 à 17 ; pour 0,3, c'est comme 10 à 22, et enfin pour 0,2, comme 10 à 28. On remarque une différence assez notable entre les courbes ponctuées et celles en trait plein, et en faisant glisser la courbe B sur celle A, on voit déjà que les détentes n'ont pas lieu aux mêmes positions respectives de la bielle et de la manivelle dans un sens de la rotation et dans l'autre ; les courbes en sont la preuve, puisquelles diffèrent suivant que la manivelle A est en avance de celle B ou en retard, et on en conclut naturellement que dans une machine l'effort de rotation n'est pas le même en marchant en avant qu'en tournant en arrière. Nous allons en voir une preuve plus évidente dans les observations suivantes.

J'ai ensuite opéré de même en supposant que les cylindres sont placés l'un devant l'autre, et j'ai fait la somme des deux courbes primitives A et B en renversant les dernières et en plaçant le zéro, c'est-à-dire le point mort, tantôt en avance tantôt en arrière de quatre divisions. Pour la première position relative des points morts ou des manivelles, c'est-à-dire lorsque le 0 de A est sur le 12 de la courbe appelée B, la courbe est montrée par le trait plein, et pour celui des 0 de B sur le 4 de A, c'est le tracé ponctué. On remarque ici combien la rotation est plus irrégulière que pour les cylindres placés du même côté, puisque la plus grande différence de ces derniers n'est jamais trois fois son minimum, même avec 0,2 d'introduction, tandis qu'avec les cylindres opposés, et avec 0,5 d'introduction, la différence d'effort de rotation est plus du double, et avec 0,2 d'introduction c'est quatre fois et demie pour le trait plein et près de cinq fois et demie pour le trait ponctué.

L'aspect de ces courbes montre les irrégularités de l'effort de rotation avec deux machines conjuguées à angle droit, et en les comparant à celles du dynamomètre observées à bord du *Rattler* et dessinées planche IV, on remarque que dans ces dernières comme dans celles des figures 10, 11, 12 et 13, pl. XIV, pour deux cylindres placés du même côté, ce qui est le cas du *Rattler*, bien qu'il ait des engrenages, il y a deux fortes impulsions inégales suivies de deux autres beaucoup plus faibles et formant de longues ondes. D'après cette similitude il y a lieu de croire que les trémitations de l'arrière ne sont pas seulement occasionnées par l'eau projetée sur l'étambot, mais encore plus par l'inégalité des impulsions de la machine, et qu'il est à désirer de s'approcher autant que possible de la régularité.

Puisque les inégalités dont il est question se montrent d'une manière beaucoup plus sensible pour les cylindres placés l'un devant l'autre dont les courbes sont tracées fig. 14, 15, 16 et 17, que pour ceux situés du même bord (fig. 10, 11, 12 et 13), il est préférable d'adopter cette dernière disposition, comme on l'a fait dans la plupart des appareils directs, ou à engrenages dessinés sur les différentes planches.

En faisant glisser les figures calquées nommées B sur le tracé original, j'ai cherché quelle était la position respective qui compensait le mieux les efforts des deux machines, et il m'a paru que pour les cylindres situés du même bord l'angle droit était préférable; tandis que pour les cylindres opposés c'était l'angle de 112°, c'est-à-dire en mettant le 0 de la courbe B renversée sur le n° 11 de A. C'est en totalisant les deux courbes dans ces deux positions qu'a été tracée celle en traits séparés par un point — . — . —. —. sur laquelle on remarque qu'avec 0,5 d'introduction la variation est comme 10 à 15; à 0,4 comme 10 à 16 $\frac{1}{2}$; à 0,3 comme 10 à 21 $\frac{1}{2}$; et à 0,2 comme 10 à 30, ce qui n'est guère que la moitié des inégalités produites par la position à angle droit.

Enfin, pour comparer les actions de quatre cylindres, celles avec deux l'ont été l'une à l'autre, et des courbes du même genre tracées en déterminant les positions respectives des manivelles an moyen du cercle divisé en seize parties, calqué plusieurs fois et superposé ponr comparer les positions. Si on prenait les figures 10, 11, 12 et 13, représentant l'effet de deux cylindres placés du même bord, on verrait qu'on a peu d'irrégularité avec quatre cylindres conjugués entre eux à 180° et opposés ou situés du même côté. Pour les cylindres opposés les inégalités sont plus grandes et les courbes des figures 18, 19, 20 et 21 composées avec celles 14, 15, 16

et 17, nommées G, montrent de la même manière la totalisation des deux paires de cylindres. La courbe en trait plein fait voir que pour 0,5 d'introduction les inégalités ne sont que de 81 à 100, pour 0,4, c'est de 65 à 100, et pour 0,2 d'introduction, la variation est de 30 à 100. La courbe en trait plein représente le numéro 4 de la courbe G sur le zéro d'une semblable nommée H, et celle ponctuée le zéro de G sur le numéro 4 de H. Cette disposition a rapport à des manivelles intermédiaires à angle droit, mais si les quatre manivelles forment en projection deux diamètres perpendiculaires l'une à l'autre, les inégalités sont encore plus fortes, et pour en donner une idée, les courbes relatives à cette disposition sont tracées sur la figure 20, ce sont celles représentées par les lignes —.—.—.— et —..—..—..—.

Enfin pour connaître s'il n'y avait pas un calage donnant un mouvement plus régulier, j'ai combiné ensemble les courbes du calage des manivelles opposées à 112°, et j'en ai formé de la même manière celle représentée par des petits traits ———— qui, comme on le voit, partage les autres en parties égales et présente des ondulations beaucoup moindres. Aussi est-il probable que cette disposition assure mieux la régularité de la rotation que celle adoptée par M. Cody (page 433), car voulant me rendre compte de cette position à 45° des manivelles intermédiaires, j'ai trouvé des inégalités presque aussi grandes que pour deux cylindres placés l'un devant l'autre : il y a beaucoup d'analogie entre les courbes tracées suivant les quatre positions respectives des manivelles, et pour en donner une idée, une des quatre courbes relatives à 0,2 d'introduction a été tracée en traits tremblés ~~~~~. Chaque rapport de la longueur de la manivelle et de la bielle produit des combinaisons différentes, et plus cette dernière pièce est courte, plus elle rend la rotation irrégulière. J'ignore si on s'est déjà occupé de cette question devenue importante, pour diminuer à l'arrière des navires à hélice les trémitations violentes, qui en disloquent la charpente, et c'est ce qui m'a engagé à en donner une idée par les figures de la planche XIV et les détails précédents, qui sont suffisants pour permettre d'étudier cette question pour tous les cas de la pratique et pour toutes les combinaisons de nombres et de positions de cylindres.

MOYENS D'ÉPUISEMENT.

Les vaisseaux à vapeur n'ont que des moyens d'épuisement très-insuffisants : dans le cas d'une voie d'eau leur immense puissance motrice res-

terait inutile, et malgré les ressources qu'elle présente, ils seraient encore réduits à employer les hommes des pièces et seulement le petit cheval. S'il a été hardi d'affronter le feu en brûlant plus de 100 tonneaux de charbon par jour dans le fond des cales des vaisseaux, on peut ajouter qu'il l'a été aussi de percer le corps du navire de nombreux troua dont un seul serait une voix d'eau considérable, et de se fier à un collet tenu par quelques boulons ainsi qu'à un presse-étoupe. En marche les navires ont, il est vrai, un moyen énergique dans leurs condenseurs, mais s'ils sont embossés, ils seraient forcés de filer leur chaîne et d'abandonner leur poste pour y recourir en faisant marcher leurs machines. A cela s'ajoute un surcroît de travail qu'il est jusqu'à présent impossible d'éviter: l'eau entrée par des trous très-voisins de la flottaison, s'écoule au fond de la cale et oppose l'obstacle d'une haute colonne: pour épuiser ce qui a été introduit à un mètre au-dessous du niveau de la mer il faut en refouler sept. Il y a donc là de grands perfectionnements à effectuer. Le plus naturel, s'il n'est pas le plus énergique, est de donner aux pompes des petits chevaux des dimensions assez grandes pour utiliser toute leur force et même peut-être d'augmenter un peu cette dernière, à moins qu'on ne trouve un moyen de séparer une paire de cylindres pour marcher à haute pression et d'employer leurs pompes à air à épuiser. Mais il en résulterait des complications dont l'utilité ne serait sentie qu'après une catastrophe. Le plus simple serait de doubler la force des petits chevaux en leur donnant une pompe à air et un condenseur en chaudronnerie. Ils seraient alors capables de mouvoir l'hélice dans quelques circonstances particulières (page 472).

EMPLOI DE PRESSIONS PLUS ÉLEVÉES.

La tendance actuelle est vers l'emploi de pressions plus élevées que celles usitées jusqu'à présent (page 371). Les Anglais adoptent souvent 25 et même 30 livres par pouce carré (1^k,66 et 2^k par centimètre carré), et nous commençons à admettre une atmosphère et demie effective, c'est-à-dire 1^k,500 par centimètre carré. M. Penn exécute un appareil sans condensateur de 4 atmosphères effectives, dont les chaudières auront toutes leurs parties cylindriques. Sous le rapport mécanique c'est un progrès, mais il présente des dangers et surtout des chances de mécomptes. Les pressions élevées sont beaucoup plus dangereuses à bord des navires que sur terre, une déchirure de chaudière remplit instantanément tout la

cale d'une vapeur brûlante, au milieu de laquelle il est impossible de pénétrer pour porter secours. Plus la pression est forte, plus la température de l'eau est élevée et ce surcroît de chaleur est une force acquise à l'eau qui, si une issue se présente, la dépense à produire de la vapeur jusqu'à ce qu'elle tombe à 100°. L'écoulement est en outre d'autant plus rapide que la tension est plus grande. On en a déjà eu plusieurs exemples, notamment celui arrivé à bord du *Comte d'Eu*, où 4000 mètres cubes de vapeur à 100° se formèrent ainsi spontanément et firent périr quatorze hommes (voy. *Catéchisme du mécanicien*, pages 416 et 417). L'énergie donnée au moteur exige donc dans toutes les parties de la chaudière et du tuyautage un grand surcroît de solidité et d'épaisseur. Car la rouille ronge si rapidement les tôles, qu'au bout de trois ou quatre ans le meilleur appareil ne présente plus la sécurité convenable, et que pour éviter des dangers il faut diminuer la pression, c'est-à-dire renoncer aux avantages qu'on avait recherchés à tant de frais et se résigner à une marche médiocre, suite naturelle d'un affaiblissement de la force motrice.

LES CHAUDIÈRES PLUS ÉPAISSES, ÉTABLIES SUR DU FER.

Il conviendrait d'augmenter beaucoup l'épaisseur des feuilles de tôle, dans toutes les parties que l'expérience a reconnues présenter une durée moindre. Les grosses tôles sont réunies par des rivets moins nombreux, mais plus forts et qui résistent aussi plus longtemps à l'oxydation. Les fonds de chaudière et les devantures de foyers, sont ainsi que quelques parties de la chambre à vapeur plutôt percés de trous de rouille que le reste de l'appareil ; on les a déjà fortifiés en leur donnant 12 millimètres ; mais ce n'est pas suffisant et il en faudrait, je crois, 0m,015, dans les fonds, et au moins 0m,012, dans toutes les parties, qu'on ne peut réparer sans déplacer les chaudières, démonter le tuyautage et une partie du faux-pont. Les foyers conserveraient la même épaisseur tant pour favoriser le passage de la chaleur, que parce que ce sont les parties les plus faciles à réparer, par les moyens du bord, en démontant une partie des tubes. Il conviendrait cependant de donner 0m,011, ou 0m,012, aux cendriers auxquels on ne peut travailler.

Pour éviter l'activité de l'oxydation des fonds on couvre quelquefois les carlingues en bois, avec des feuilles de plomb ou de zinc, ou bien on établit une plate-forme et un mastic continu. Ce dernier est peu utile en ce qu'il conserve l'humidité et empêche l'accès aux parties avariées.

Il vaudrait mieux établir les chaudières sur les carlingues en fer ou en fonte, et même faire ces dernières en parties unies par des boulons, afin de les démonter pour atteindre partout. Comme de la sorte tout le fond de la chaudière serait découvert, on s'opposerait à ce qu'il perde de la chaleur par rayonnement, en plaçant au-dessous et sans le toucher des panneaux volants en bois, appuyés sur les rebords des carlingues.

ÉPREUVES DES CHAUDIÈRES.

La marine n'éprouve ses chaudières *lors des recettes*, qu'à deux fois la pression effective, et ensuite elle ne leur fait plus subir d'épreuves : s'il ne lui arrive pas d'accidents c'est parce qu'elle se résigne à des marches médiocres et à changer souvent ses chaudières. Elle est exempte de toute surveillance en vertu de l'article 60 de l'ordonnance du 17 janvier 1846, relative aux bâtiments à vapeur qui naviguent sur mer. Le commerce éprouve ses chaudières, à trois fois la pression effective et de plus il est tenu de répéter les épreuves à chaque réparation et toutes les fois que les commissions de surveillance l'exigent. On allègue contre l'épreuve à trois fois la pression, la fatigue éprouvée par les chaudières, quand on les force trop. Mais aussi on est bien sûr que les fabricants ne donnent à leurs chaudières que juste la force nécessaire pour ces épreuves, au moment où elles sont neuves. De sorte que la moindre détérioration les rend impropres à la pression de régime et il faut baisser cette dernière, ou changer la chaudière au bout de trois ou quatre ans, comme on ne l'a vu que trop souvent. En éprouvant à trois fois, on augmenterait beaucoup la durée des appareils évaporatoires et si ce n'est pas comme moyen de sécurité pour les hommes, cette pression devrait être exigée comme garantie de durée. Le changement d'une chaudière est une opération très-longue et très-dispendieuse à bord d'un vaisseau ; elle entraîne la démolition d'une partie des ponts, un désarmement presque complet et le long chômage d'une artillerie puissante et d'un appareil dont le prix élevé dénote assez l'importance. Nos chaudières de vaisseaux ayant été construites comme celles des anciens navires à roues, il faut s'attendre à les voir durer beaucoup moins à cause de nos pressions et à voir des navires importants quitter leur poste, pour venir se réparer dans les arsenaux. Il vaudrait donc mieux payer les chaudières plus cher et déterminer leur poids, en excluant tous les objets de fonte, ou même les solder tout à fait au poids. On a maintenant des moyens assez exacts de peser de telles masses.

DISPOSITION DES TIRANTS.

On consolide d'habitude les surfaces des chaudières au moyen de tirants; si la tôle n'était pas si dure, ce serait à peu près comme si, pour soutenir un hunier, on amarrait des bouts de cordes sur plusieurs garcettes de ris; la toile serait bientôt déchirée. La tôle ne l'est pas, mais elle perd promptement de sa force par la rouille formée autour de tous ces trous, qu'il est impossible de rendre étanches et que les inégalités de dilatation fatiguent beaucoup. Quand les tirants ne sont que des petits morceaux de fer filetés et vissés seulement dans l'épaisseur taraudée de la tôle, ils ne tiennent pas longtemps et sont impossibles à réparer, ou même à rendre étanches: en ce que si on veut battre leur extrémité déjà refoulée pour la mâter, on ébranle tout et on produit de nombreuses fuites. Déjà de pareils tirants ont entraîné à de longs chômages, et une parcimonie exagérée peut seule porter à les employer encore. Il vaut mieux avoir des boulons à écrous appuyant en dedans la tôle sur une douille; au moins on peut les serrer ou les changer dans les parties un peu accessibles. Il faudrait que les tirants fussent toujours tenus à une sorte de placard, mais sans percer la tôle. On a longtemps employé de petites feuilles de fer recourbées et tenues par des rivets; mais on pourrait, je crois, fabriquer facilement une douille destinée à recevoir chaque tirant et s'amincissant pour s'étendre en étoile dans le plan perpendiculaire à sa longueur, elle s'appliquerait ainsi sur la tôle et y serait tenue par plusieurs rivets. Avec les étampes et le marteau-pilon, on obtiendrait des nervures et toutes les conditions de solidité et de légèreté, qu'on produit si facilement par le moulage de la fonte.

CHAUDIÈRES CONSTRUITES AVEC DES MEMBRURES COMME LES NAVIRES EN FER.

J'ai toujours été surpris qu'on n'ait pas cherché à construire des chaudières comme les navires en fer, c'est-à-dire en les garnissant d'une sorte de membrure en cornières. Pour l'enveloppe, il vaudrait mieux l'établir en dehors; mais, comme il en résulterait une perte de place, elle pourrait être placée en dedans. Quant aux foyers, ils seraient pour ainsi dire cerclés par les cornières, et celles-ci, se trouvant dans un plan vertical, ne produiraient aucun obstacle à l'ascension des bulles de vapeur et au nettoyage du sel. Il n'y aurait que dans le fond, où la position ho-

rizontale et en travers rèlativement aux trous de sel, exigerait soit plus de hauteur de la lame d'eau, soit la position extérieure des cornières. Je crois que ce serait le meilleur moyen d'avoir de la sécurité pour les pressions élevées; d'autant plus que, si les grandes longueurs de cornières nécessitaient quelques tirants, on leur en mettrait, sans pour cela percer la chaudière, et, quoique ce soit en sens inverse, ils agiraient comme les épontilles de nos baus. Il est probable qu'on aurait plus de durée, en évitant ainsi les suintements des trous de tirants. Il n'y a pas lieu d'objecter que les doubles épaisseurs de ces cornières gêneraient le passage de la chaleur, puisque les tôles en ont à leurs coutures et que les locomotives, dont la combustion est si active, ont les ciels plats de leurs foyers consolidés par des armatures de cette sorte. L'eau de mer et l'air corrosif des cales rongent tellement les tôles qu'on ne saurait prendre trop de précautions pour assurer leur durée. M. Mazeline a eu l'idée de faire des chaudières de cette sorte, et il est à regretter qu'il ne l'ait pas exécutée.

DANGERS D'UN TIRAGE VIOLENT.

Sur mer, il y a des dangers à employer un tirage trop actif, surtout à bord des vaisseaux où la cheminée traverse quatre ponts et expose à des incendies lorsqu'elle rougit. Les tirages forcés conviennent aux bateaux de rivière et aux locomotives; ils sont une économie dans la fabrication des chaudières, car, si on fait brûler le charbon avec une activité exagérée, on n'a pas besoin d'autant de grilles et de tubes, et on peut établir que la dépense de fabrication des chaudières est à peu près en raison du nombre de leurs foyers. Par conséquent, si, sur dix de ces derniers, on en épargne deux, l'appareil coûte $\frac{1}{5}$ de moins. Il est vrai qu'il est alors moins encombrant et plus léger; mais cet avantage, important sur des navires n'ayant qu'un ou deux jours de chauffe, disparait dès qu'on en a cinq ou six, en ce que la combustion trop active fait consommer beaucoup plus. Il serait donc à désirer que la quantité de charbon brûlé par heure et par cheval fût rigoureusement débattue et fixée dans les marchés et qu'elle fût ensuite vérifiée par une expérience assez longue pour vider des soutes bien pesées et jaugées. Lorsqu'une économie de combustible serait obtenue, elle permettrait de mieux payer les appareils et de leur donner un peu plus de poids et de volume. Jusqu'à présent, fort peu de commissions se sont occupées de la quantité de charbon brûlé, et elles n'ont été portées à le faire que par l'intérêt présenté par cette ques-

tion et nullement parce qu'elles devaient l'exécuter pour vérifier les clauses d'un marché. Si on ne croit pas pouvoir établir les quantités de charbon avec la précision nécessaire à de tels actes, il serait utile d'établir un maximum et de payer une prime suivant l'économie reconnne. L'État serait amplement remboursé par le chauffage journalier de ses nombreux navires à vapeur (voy. page 499).

CHAUDIÈRES INSUFFISANTES.

Une chaudière insuffisante brûle beaucoup plus, parce qu'il faut constamment tourmenter les feux sur les grilles et jeter à la mer des matières encore combustibles, mais que l'exiguïté des foyers empêche de brûler sans manquer tout à fait de pression. En outre, la grande activité des feux détériore les tôles et ronge les têtes des rivets, surtout dès qu'une pellicule de sel s'oppose au passage de la chaleur. Elle coûtent donc journellement beaucoup plus et durent moins longtemps.

Le combustible est une resource militaire trop précieuse pour qu'on ne s'applique pas à en bien user, et rien ne contribue plus à le gaspiller que des chaudières insuffisantes. Il y a déjà plusieurs appareils qui, brillants dans leurs essais, sont devenus médiocres et ruineux à l'usage. Dans les expériences tout est neuf, il n'y a pas de sel dans les chaudières, les hommes sont choisis, le charbon est de la meilleure qualité. Il est de toute justice de laisser le fournisseur se placer dans les meilleures conditions pour observer son marché. Mais le lendemain de la signature de la recette toute cette perfection disparaît; on a des chauffeurs peu adroits, que rien n'anime; on brûle le charbon qu'on trouve, et quoi qu'on fasse, on a bientôt du sel sur les surfaces de chauffe. On avait filé dix nœuds dans les essais, à peine en atteint-on huit au bout de quelques mois. Ce que je dis est à remarquer avec les chaudières tubulaires beaucoup plutôt qu'avec celles à carneaux et ce sera encore plus sensible avec des pressions plus élevées. Parmi les causes nombrenses qui diminuent la marche des navires à vapeur, celle dont il est question est la plus influente : les frégates de 450 étaient remarquables pour leur époque; plusieurs d'entre elles ont fait onze nœuds dans leurs essais, la plupart ne vont pas au delà de neuf maintenant; cependant elles avaient des chaudières à basse pression et elles ont conservé leur tension primitive. Que sera-ce donc quand à toutes ces causes inhérentes au navire et au mécanisme viendra s'ajouter la nécessité de baisser la pression

pour ne pas exposer les chauffeurs à des brûlures? Il y a des navires qui perdront plus d'un tiers de leur vitesse.

Pour éviter d'aussi graves inconvénients, il faut de la solidité pour durer longtemps, et de grandes surfaces pour produire économiquement. Déjà plusieurs commissions ont signalé combien les conditions avantageuses des expériences faisaient peu connaître la valeur réelle des appareils, et elles ont proposé, comme garantie, d'exiger que le cheval nominal du marché au lieu de consommer 30 kilogrammes de vapeur fût porté à 40 kilogrammes. Si les manières de compter les quantités de vapeur produites, soit par l'indicateur, soit par l'évaporation directe, étaient exactes, ces conditions présenteraient des garanties; mais ces mesures sont très-incertaines, et comme toutes choses égales d'ailleurs, la production d'une chaudière est, je crois, en raison du nombre de foyers, il vaudrait mieux prescrire que, dans les expériences, on boucherait un certain nombre de foyers, pour remplir ainsi les conditions avec ce qu'on aurait de mieux en combustible et en chauffeurs. On garderait ce nombre comme une garantie contre les mauvais chauffages, les combustibles médiocres et les dépôts de sel. Si le rapport proposé de 30 à 40 kilogrammes était trouvé suffisant, il en résulterait que si la chaudière a douze foyers, on n'en allumerait que neuf pour l'expérience. On gagnerait sur le surcroît de pesanteur de l'appareil par un chauffage économique; car le poids total n'est pas seulement la machine et sa chaudière, mais bien tout ce mécanisme et le charbon nécessaire à le mouvoir. Il en résulte que moins on a d'heures de combustible, moins il faut tenir aux conditions économiques dont il est question; mais dès qu'on en prend pour plusieurs jours, il y a lieu au contraire d'y attacher d'autant plus de prix que l'approvisionnement est plus considérable

CHAUDIÈRES DE LAMB ET SUMMERS.

On emploie en Angleterre les chaudières de MM. Lamb et Summers, surtout à bord des paquebots de la Compagnie péninsulaire orientale : elles durent beaucoup plus que celles à tubes et servent sept ans sans avoir besoin d'être touchées; elles n'exigent presque pas de réparations, mais quand elles ont un long service elles arrivent à un point où il est si difficile d'obvier au mal, que la Compagnie préfère les changer. On voit un plan et plusieurs coupes de ce genre de chaudières sur la planche VI. Les tubes y sont remplacés par une série de cloisons planes et

verticales dans lesquelles se trouvent alternativement l'eau et la flamme : celle-ci les traverse comme les tubes et est arrêtée par le haut pour entrer par une extrémité et sortir par l'autre, tandis que les cloisons d'eau laissent échapper la vapeur par leur partie supérieure. La flamme est directe ou renversée comme dans les appareils tubulaires. Afin de soutenir contre l'effet de la pression des surfaces planes aussi étendues, on les relie par une grande quantité de petits tirants taraudés dans les deux tôles : toutes ces tiges doivent beaucoup gêner l'extraction du sel et produire des fuites et de la rouille autour de ces nombreux trous dans les tôles. L'expérience n'a pas encore assez confirmé les qualités de ces chaudières, et il y a lieu de croire qu'elles seront peu propres à des pressions plus élevées qu'une atmosphère. Mais comme elles ont moins de petits accidents que les tubes, elles conviennent à une compagnie qui veut avant tout éviter les chômages.

FOYERS SUPERPOSÉS.

On a voulu employer de nouveau des foyers superposés, mais leur service n'a pas été régulier et il a fallu mettre les tubes sur le côté et en partie en contre-bas des grilles. Cette disposition n'est pas avantageuse : quand on est gêné pour la hauteur des chaudières à retour de flamme et qu'on prend un grand espace pour mettre les tubes à côté ; il vaudrait mieux mettre des foyers partout avec peu de tubes en dessus et compenser la réduction de surface de ces derniers par un tirage modéré, devenu possible avec de grandes surfaces de grilles.

SUPPRESSION DES POMPES D'EXTRACTION.

On paraît porté à supprimer les pompes d'extraction continue, signalées pendant longtemps comme une grande sécurité contre les dépôts de sel. On leur reproche d'être une complication, de s'engorger souvent, et alors de ne plus produire l'effet voulu. Mais quel est l'organe d'une machine qui marche sans surveillance? Au moins avec ces pompes, on calibrait régulièrement la quantité d'eau extraite, suivant le nombre de coups de piston ; elles n'étaient jamais assez gênées dans leurs fonctions pour qu'un seul quart suffît à couvrir de sel les surfaces des chaudières tubulaires. En les réglant de manière à enlever peu d'eau, on pouvait de temps à autre faire des extractions à main, si on les croyait préféra-

bles, et au moins on avait une pression plus régulière que s'il faut extraire toutes les heures. Si on fait seulement des extractions à mains, on est exposé à toutes les négligences d'agents subalternes et à perdre des chaudières en peu de temps, ou à rejeter beaucoup trop d'eau chaude dans la mer. Malgré le pèse-sel, on agit un peu en aveugle et on ne sait pas trop ce qu'on a produit en faisant baisser le niveau de l'eau de $0^m,08$ ou $0^m,10$, d'autant que, suivant que l'ébullition est plus ou moins active, ce niveau change naturellement. On semble porté à faire des extractions continues au moyen de tuyaux et de robinets dont le degré d'ouverture réglera l'écoulement; mais, à moins de peser l'eau à chaque instant, cette ouverture aura des effets variables suivant les pressions; elle extraira trop quand la machine marchera doucement, trop peu dans le cas contraire. Je crains que lo retour à ces anciens procédés ne prodnise l'encombrement de sel de beaucoup de chaudières et qu'il faille encore détruire une partie des tubes pour les nettoyer. Sur les vaisseaux où la colonne d'eau est plus élevée, il faudra la pression de régime pour faire l'extraction et la rapidité du sillage influera sur l'écoulement. Si des échauffements, des craintes d'avarie, des fuites ou la vétusté des chaudières forcent à baisser la pression, il ne sortira plus rien des chaudières, et on ne le saura que très-tard, parce que les indications du pèse-sel sont peu exactes et souvent influencées par la température de l'eau. Déjà sur un vaisseau encore neuf on est forcé de marcher doucement afin de faire monter la pression, pour mettre à même d'opérer des extractions. De tels procédés ne sont assortis ni à la navigation ni à la guerre; et dans une escadre on ne s'attend pas les uns les autres pour faire une pareille opération. J'ai longtemps employé les pompes d'extraction, et je les vois abandonner avec regret, surtout sur les grands navires et avec les ébullitions violentes de nos chaudières tubulaires. Si on y renonce, il faudrait au moins adopter un des procédés inventés pour mesurer l'eau extraite en raison du nombre de coups de piston et non relativement à la pression et au temps.

SURVEILLANCE DES APPAREILS.

Quelque habilement conçus et bien exécutés que soient les appareils, ils ne conserveront leur force et ne dureront que s'ils sont entretenus avec soin et guidés avec intelligence; aussi le rôle des maîtres mécaniciens acquiert une grande importance. Comme c'est surtout par leurs

machines qu'il convient de les juger, il serait très-utile d'inspecter de temps à autre les machines à flot et d'exiger qu'un registre du bord porte les dates des embarquements des mécaniciens, les avaries survenues, leurs réparations et tout ce qui contribuerait à faire juger de l'état des appareils avant la prise de possession de chaque maître. Les Anglais ont un *inspector of machinery à float*, et ils savent sans doute ainsi quel est l'état de leurs appareils, et si le nombre de chevaux portés sur le matériel de la marine est réel ou fictif. Les machines ne marchent pas seules, aucune partie du matériel naval n'a plus de valeur et ne dépérit cependant plus vite, quand elle est négligée. Les officiers eux-mêmes doivent être initiés aux machines, afin de les employer avec discernement à la navigation, et l'amirauté anglaise a établi des examens à ce sujet, après lesquels des brevets de capacité, suivant trois degrés différents, sont délivrés aux officiers. En effet, à une époque si remarquable de transition, alors que l'ancienne marine disparaît et qu'une nouvelle plus puissante prend son essor, il faut que tous ses membres concentrent leurs efforts pour aider à ce beau mouvement. C'est dans cette pensée que j'ai réuni tout ce qui intéresse l'hélice et que j'ai cherché à contribuer à faire connaître ce qui s'y rattache.

CHAPITRE VIII.

NOTICE SUR LES MACHINES A VAPEURS COMBINÉES.

Dans la machine à vapeur ordinaire, la force est produite par l'énorme dilatation de l'eau transformée en fluide gazeux, et par la contraction opérée en ramenant ce gaz à l'état liquide. De ces deux causes opposées proviennent les différences de pression utilisées comme moteur, en les faisant agir en sens inverse sur le piston. Ces différences de volume ne sont obtenues qu'en donnant à l'eau une grande quantité de chaleur et en la lui retirant ensuite. La dépense de calorique est d'autant plus forte que par le fait seul de sa transformation de liquide en gaz, l'eau exige beaucoup de chaleur et il faut à chaque coup de piston donner et retirer 540 calories à chaque kilogramme. En les enlevant on les perd, tantôt en répandant la vapeur dans l'atmosphère, tantôt en la mêlant à de l'eau froide, qui exige un travail assez considérable pour être rejetée hors de la machine. Ainsi, dans les appareils à haute pression, comme dans ceux à condensation, toute la chaleur produite à grands frais dans la chaudière est perdue dès que son action est terminée. Il en est d'elle comme de l'eau arrivée au niveau inférieur après avoir fait tourner la roue; sa pesanteur, qui avait servi de moteur, n'a plus d'action utile. Dans les appareils à vapeur, cette énorme dépense de calorique est uniquement due à l'absorption de chaleur latente nécessaire à la transformation de l'eau en gaz, car il y a peu de différence de température entre la vapeur, qui pousse par sa force expansive et ce qu'on nomme le vide, qui l'attire par son manque de pression : on l'a vu dans ce qui a été dit au sujet des effets de la détente, pages 519 et 521.

Pendant longtemps on s'est résigné à cette perte, regardée comme inévitable, et les avantages de la vapeur ont fermé les yeux sur ses dépenses : mais après avoir regardé cette nouvelle force comme la conquête la plus importante, on l'a trouvée très-onéreuse et on a cherché à l'obtenir à meilleur compte. L'économie est devenue le but des perfectionnements et on a tenté d'y parvenir, d'un côté par les modifications apportées aux chaudières pour mieux utiliser la chaleur du combustible, et de l'autre par un meilleur emploi de la vapeur. Les machines à deux cylindres de

Woolf sont celles qui sous ce dernier rapport ont donné les meilleurs résultats, en se bornant toujours à mieux employer la vapeur ; mais jamais à récupérer une partie de la chaleur perdue. C'est à M. Du Trembley qu'on doit, non-seulement cette idée nouvelle, mais aussi son exécution pratique, et sous ce double point de vue l'industrie et les arts mécaniques lui doivent une profonde reconnaissance. Il a su recueillir toute cette chaleur perdue pour l'employer à vaporiser un second liquide, qu'il nomme auxiliaire et en retirer une force au moins égale à celle produite par la vapeur primitive. De la sorte il a doublé la puissance obtenue de la même quantité de chaleur ou de combustible. Ce n'est qu'après de longs essais et des inventions très-ingénieuses, pour surmonter les nombreuses difficultés d'un système entièrement nouveau, qu'il est arrivé à un succès complet : et sa persévérance éclairée est aussi digne d'éloges que le génie qui lui a inspiré l'idée première.

Pour avoir une idée de la machine à vapeurs combinées de M. Du Trembley, il faut encore se reporter à ce qui se passe dans l'appareil ordinaire. La vapeur, après avoir entraîné le piston, est refroidie pour détruire tout obstacle à son retour ; il suffit de lui enlever sa chaleur latente pour produire cet effet et que ce soit par un mélange d'eau froide comme dans nos machines, ou par des surfaces réfrigérantes comme dans le condenseur de Hall ou dans l'alambic, le résultat est le même ; la pression est détruite quand la chaleur est enlevée. Mais dans la nature rien ne se perd ; la chaleur surtout, quelle que soit sa facilité à abandonner les corps, n'est jamais détruite ; si elle en quitte un c'est pour s'introduire dans un autre par mélange, par conductibilité, par rayonnement ou par absorption. Elle n'est perdue pour nous, que parce que nous n'avons pas su la recueillir, et que nous la jetons à la mer par nos tuyaux de décharge. Mais si, au lieu d'agir ainsi, on fait entrer la vapeur dans un vase présentant par de nombreux tubes une grande surface réfrigérante, la chaleur enlevée à la vapeur est transmise à travers ces tubes au liquide qui les environne, et si tout restait en contact il y aurait bientôt équilibre de température. Dans le cas où il y aurait de la vapeur d'eau d'un côté et de l'eau de l'autre, l'équilibre de température amènerait naturellement celui de la pression, et dès lors il n'y aurait pas de force obtenue. Il a donc fallu que, pour l'équilibre de température, M. Du Trembley se servît d'un liquide qui n'eût pas celui de la pression et qui fût beaucoup plus vaporisable. C'est ce qui lui a fait adopter l'éther sulfurique qui bout à 37° sous la pression atmo-

sphérique et qui en outre exige beaucoup moins de chaleur latente pour sa vaporisation.

On pourrait se demander s'il n'aurait pas mieux valu employer directement l'éther au lieu de l'eau ; mais en agissant ainsi on n'aurait pas utilisé la chaleur latente de la vapeur produite et même on aurait obtenu un moins bon résultat qu'avec cette dernière, quand même on n'aurait pas considéré le prix élevé de l'éther. Quand un liquide échauffé est employé à produire de la force, il ne faut pas considérer seulement son point d'ébullition, mais bien la densité de sa vapeur : car si cette dernière est plus grande, il faut un poids plus considérable de liquide vaporisé pour remplir le cylindre, et c'est le volume engendré par ce dernier qui établit la quantitié de force produite. Les avantages respectifs de divers liquides pour la production d'une force ont été expliqués dans le *Catéchisme du mécanicien à vapeur*, page 64, et il se trouve qu'à part son abondance, l'eau est celui qui, pour la même quantité de chaleur, donne le plus de puissance mécanique. En outre l'éther est tellement vaporisable et inflammable qu'il serait impossible de le chauffer à feu nu. Il n'a donc été adopté par M. Du Trembley que pour prendre la chaleur latente de la vapeur d'eau ; et si d'autres liquides, tels que le chloroforme, ont été employés, ce n'a été que pour éviter les dangers de l'éther, dont la vapeur prend feu avec une extrême facilité.

Pour donner une idée générale de la manière dont M. Du Trembley a utilisé l'éther, nous allons décrire son appareil. Il se compose de deux cylindres disposés comme ceux de nos machines et ayant chacun leur tiroir : le premier reçoit directement la vapeur d'eau de la chaudière et la rejette vers un condenseur. Celui-ci forme une grande caisse, ayant près de ses deux extrémités des cloisons horizontales percées (comme les plaques de tête des chaudières) de nombreux trous ovales très-allongés, dans lesquels sont des tubes de même forme rendus parfaitement étanches : l'entre-deux des plaques, et en même temps l'intervalle des tubes, sont aux deux tiers emplis de liquide auxiliaire fourni par une pompe. D'après cette disposition, la vapeur d'eau arrive dans la chambre formée entre la plaque supérieure et la cloison ; elle se trouve en contact de la surface intérieure des tubes et se refroidit rapidement pour tomber en eau dans le fond de la caisse et y être prise par une pompe alimentaire, qui la renvoie à la chaudière ; de sorte qu'on emploie toujours la même eau comme dans le condenseur de Hall et qu'on évite les dépôts de sel.

Mais en se refroidissant par le contact des tubes, cette vapeur d'eau a

transmis sa chaleur à travers ces surfaces et l'a donnée au liquide auxiliaire, qui baigne les tubes jusqu'aux deux tiers de leur hauteur. Celui-ci s'est transformé en vapeur, a pris une force élastique et s'est transporté par un tuyau pour aller produire sa pression sur le piston du second cylindre semblable au premier. Si le liquide auxiliaire n'avait aucune valeur, il serait condensé par un mélange avec de l'eau prise et rejeté au dehors, son effet n'en serait pas moins produit : mais comme il coûte cher, il a fallu l'employer de nouveau. Pour cela sa vapeur, au sortir de son cylindre, arrive dans un condenseur tubulaire semblable au premier : elle se met en contact de l'intérieur des tubes, tenus constamment baignés d'eau froide par une pompe; elle se condense donc et tombe au fond du condenseur pour être renvoyée de nouveau dans le premier appareil afin d'y reprendre la chaleur de la vapeur d'eau et de se vaporiser. Il en résulte que s'il n'y avait pas de fuites le même liquide servirait toujours.

Quoique produisant des effets semblables, les deux condenseurs jouent des rôles très-différents dans l'appareil; le premier condense, il est vrai, la vapeur d'eau, mais il vaporise également l'éther, et se nomme à cause de cela vaporisateur; il produit donc de la force de deux manières; en anéantissant la résistance dans le cylindre à vapeur d'eau et en créant de la pression pour agir dans celui à éther. Le second condenseur ne remplit point ce double rôle, il sert uniquement à recouvrer le liquide auxiliaire, à lui enlever sa chaleur latente et sa force élastique, pour laisser avancer son piston et à le préparer à aller prendre une nouvelle pression dans le vaporisateur en absorbant toute la chaleur latente de la vapeur d'eau. Il résulte de ce double jeu, que toute la force produite dans le cylindre d'éther eût été perdue dans la machine ordinaire et que par conséquent la puissance mécanique est doublée pour la même quantité de calorique dépensé. Si la nature produisait une série de liquides se vaporisant à environ 50 à 60° l'un de l'autre, ils agiraient réciproquement comme l'eau et l'éther, de manière à produire chacun leur force, et celle développée par le premier cylindre à vapeur d'eau serait multipliée par le nombre de liquides employés.

Pour arriver à ce résultat, assez simple en apparence, M. Du Trembley a été forcé de surmonter de nombreuses difficultés pratiques et d'inventer des procédés nouveaux et ingénieux. La confection du condenseur a présenté beaucoup d'obstacles; on comprend en effet combien il était difficile de rendre ces forêts de tubes étanches eux-mêmes et surtout à leur

jonction aux plaques extrêmes. Il y avait beaucoup de chances de fuites le long des nombreuses soudures de tubes d'un aussi petit diamètre, et comme il était impossible de les river aux plaques de tête, il avait fallu couler ces dernières autour d'eux, ce qui fondait la soudure, qui est plus fusible que le bronze des plaques. L'air et les gaz contenus dans le sable étaient surchauffés par la coulée et perçaient la soudure d'une multitude de petits trous imperceptibles, qu'il était impossible de fermer. En faisant des tubes forés on aurait retiré la meilleure partie du métal et il aurait fallu les rougir pour les aplatir. Après beaucoup d'essais infructueux les tubes aplatis ont été exécutés d'une manière remarquable par M. Palmer. Il les a faits sans soudure au moyen d'une plaque de cuivre ronde et plate comme une pièce de monnaie et contenant la quantité de métal nécessaire. Cette plaque est emboutie à plusieurs reprises de manière à former un cylindre de $0^m,15$ à $0^m,18$ de long, sur $0^m,03$ à $0^m,04$ de diamètre. Alors ce premier tube est étiré au banc et recuit au rouge naissant à chaque opération, excepté pour les dernières passes, qui lui donnent une force capable de supporter de grandes pressions sans fléchir; lorsqu'il est assez long, il est aplati au laminoir. Une fois tous les tubes prêts, on les assemble à leur position respective, après avoir décapé la partie où doit se trouver la plaque; chaque intérieur de tube reçoit un noyau en sable réfractaire. On moule le tout de manière à laisser l'intervalle pour la plaque et on coule du bronze qui s'unit parfaitement au cuivre. Afin de ne pas faire un condenseur d'une seule pièce, les plaques de tête prennent seulement deux ou trois rangées de tubes, et les joints des plaques sont faits avec du papier imprégné de gomme arabique. Ainsi disposés, ces vaporisateurs sont essayés à six atmosphères, et il faut que les jointures soient assez parfaites pour ne pas apercevoir le plus léger suintement sous des pressions plus élevées encore. Si on voulait leur en faire supporter douze ou quinze, il faudrait donner aux tubes plus d'un millimètre d'épaisseur. Ces procédés ont fait le succès des appareils à vapeur combinés, et ils sont appliqués par M. Palmer à toutes sortes de métaux. Il est arrivé à faire des tubes en cuivre de $0^m,001$ de diamètre intérieur et, en superposant sept tubes en fer, à former des fusils, qui ont résisté à dix balles chassées par dix charges de poudre.

Les nombreux joints de l'appareil n'ont pu être faits avec des mastics au minium et à l'huile, parce que les liquides employés dissolvent les corps gras; on s'est servi de papier, de toile de coton, de cuir ou de

peau, imbibés de gomme arabique. Les garnitures des tiges du piston et du tiroir avaient des fuites considérables et laissaient perdre beaucoup de liquide auxiliaire. La vapeur d'éther aveo des pressions de trois à quatre atmosphères décomposait les graisses au bout de quelques instants et passait au travers des étoupes. M. Du Trembley surmonta ces difficultés en inventant une garniture à pression hydraulique et élastique composée, lors des premiers essais, d'une bande de cuir gras de trois à quatre millimètres d'épaisseur sur quinze à seize centimètres de large et assez longue pour entourer trois fois la tige, et se croiser par des extrémités découpées en biseau. La chaleur durcissait le cuir et le rendait cassant, ce qui engagea M. Du Trembley à employer une étoffe de coton appelée moleskin en Angleterre. Une bande de cette étoffe entoure la tige par trois ou quatre tours et est tenue par une ficelle serrée de manière à recouvrir les deux tiers de la partie moyenne de la bande. Le trou du couvercle est entouré d'un anneau comme un siége de presse-étoupe, mais conique et très-aigu à la partie appliquée sur la tige, de manière à pénétrer dans la bande d'étoffe jusqu'à l'amarrage quand la tige descend. La couronne du presse-étoupe, au lieu d'avoir sa partie inférieure aplatie comme à l'ordinaire, se trouve terminée par un cône semblable au premier et qui pénètre de haut en bas entre les parois de la boîte du presse-étoupe et la bande d'étoffe. De la sorte, un tiers de la bande porte sur la tige et chacun des deux autres sur les cônes du siége et de la couronne du presse-étoupe. Pour compléter l'adhérence, une pompe introduit de l'huile ou tout autre liquide dans la boîte du presse-étoupe, et au moyen d'un réservoir d'air produit une pression hydraulique et élastique sur la bande et sur les deux cônes; elle fait pénétrer l'huile à travers les pores de l'étoffe et lubrifie ainsi la tige. La pression exercée de la sorte est plus forte que celle du régime de la machine et régularisée par une soupape chargée d'un poids convenable. Ces garnitures conservent si bien la pression que la pompe foulante n'a besoin de fonctionner que tous les huit ou dix jours. Des tuyaux partent d'un réservoir commun pour conduire l'huile ou l'eau destinée à produire cette pression sur les différentes garnitures de l'appareil. D'après cette disposition ingénieuse, s'il se présente une fuite, ce n'est plus celle de la vapeur qu'on cherche à conserver, mais bien du liquide employé à comprimer la bande; puisque la pression de ce dernier est toujours supérieure à celle de la vapeur, il entrerait plutôt que de permettre la sortie de cette dernière. Ces garnitures sont faciles à faire et durent fort longtemps; au

bout de 90 à 100 jours il faut resserrer la ficelle et quelquefois changer la bande.

Le vaporisateur contient une si petite quantité de liquide auxiliaire, que les moindres fuites feraient baisser son niveau et causeraient une perte notable, car chaque litre de moins fait découvrir un mètre de surface de vaporisation. C'est surtout à la pompe alimentaire que les fuites font perdre le plus de liquide, car aux tiges de piston ce n'est que de la vapeur.

Les robinets ordinaires ont été remplacés par une soupape dans les parties où se trouve le liquide auxiliaire, parce que ce dernier, quelle que soit sa nature, dissout les corps gras et empêche par conséquent de graisser les surfaces flottantes, qui se trouvent pour ainsi dire décapées et sont bientôt grippées par le frottement. Cette soupape garnie de deux lentilles en plomb agit dans une tubulure à deux siéges; en descendant elle appuie une de ses lentilles sur le siége inférieur et ferme la communication entre la machine et le vaporisateur et en montant elle rouvre cette issue et appuie l'autre lentille sur le siége supérieur pour empêcher toute fuite au long de la tige, qui mène cette sorte de soupape.

Pour éviter les déperditions du liquide dispendieux employé dans les machines à vapeur combinées, M. Du Trembley se sert pour faire le vide au condensateur d'une pompe à air différente de celle en usage, en ce que sa garniture est métallique, et que la course est beaucoup plus grande que d'habitude relativement au diamètre. Au lieu de rejeter l'air et le liquide comme dans les appareils à vapeur, la pompe le fait entrer dans un réservoir hermétiquement fermé, d'une capacité égale à une fois et demie ou deux fois celle de la pompe, ce réservoir cylindrique a une hauteur égale à cinq ou six fois son diamètre; il porte vers le bas une tubulure communiquant avec la pompe à air, et en dessous un deuxième canal aboutissant au vaporisateur, tandis qu'à la partie la plus élevée se trouve un robinet ouvrant à l'air libre. Au moment de la mise en marche la pompe à air refoule dans ce réservoir l'air et le liquide qu'elle retire du condensateur, et les pesanteurs spécifiques des deux corps étant très-différentes, l'air plus léger monte au sommet du récipient, il s'y accumule sous une pression égale à celle du vaporisateur : le liquide tombe au bas et passe seul dans ce dernier. Un tube de niveau indique la position du liquide dans le réservoir et il suffit d'ouvrir le robinet supérieur pendant quelque temps pour expulser tout l'air; on

s'aperçoit que c'est nécessaire à l'élévation du niveau du liquide dans le récipient; il faut alors fermer le robinet et ne l'ouvrir que lorsque l'abaissement de niveau indique qu'il y a de l'air. En éloignant cet appareil des parties chaudes il n'y a point d'éther perdu, parce qu'il arrive froid et ne forme pas de vapeur sous une pression de 2 à 3 atmosphères.

Pour connaître le niveau intérieur du liquide, M. Du Trembley ne se sert pas du tube indicateur en cristal de nos chaudières, à cause des dangers d'une rupture, d'autant plus grande que les robinets ne résistent pas longtemps et que l'irruption du liquide inflammable ou asphyxiant serait tellement rapide qu'elle causerait des accidents terribles. Il s'est donc servi de la propriété des aimants de transmettre l'attraction à travers des substances non magnétiques. Il emploie un tube en cuivre rouge étiré sans soudure, de cinq millimètres de diamètre intérieur et parfaitement calibré. Ce tube, long de $0^m,50$ communique par ses deux bouts avec le vase, dont on veut connaître le niveau : il renferme un petit flotteur cylindrique garni haut et bas de viroles de fer doux, s'approchant du diamètre du tube sans frotter sur ses parois ; à l'intérieur du tube sont deux bagues en cuivre s'équilibrant l'une l'autre au moyen de fils de soie. L'une des bagues porte une armature aimantée, qui réagit sur la virole en fer doux du flotteur; et, si celui-ci change de hauteur, l'action de l'aimant l'indique à l'extérieur, et fait ainsi connaître le niveau intérieur. Les frottements sont très-faibles, parce que les liquides employés ne laissent pas de dépôts sur les parois qu'ils baignent.

Il restait encore une cause de fuite instantanée par la rupture du manomètre du vaporisateur; mais la manière ingénieuse dont M. Bourdon mesure les plus fortes pressions comme les plus faibles au moyen de ses tubes applatis et recourbés a permis d'apprécier les tensions sans exposer à des ruptures.

D'après les connaissances actuelles, les liquides, propres à être employés dans les machines à vapeur combinées, produisent des vapeurs somnifères et asphyxiantes, l'éther sulfurique et le perchloride de carbone ont, en outre, des vapeurs inflammables, qui, combinées avec l'air donnent lieu à des mélanges explosibles. Les vapeurs de ces liquides détendues au-dessous de leur point d'ébullition sont beaucoup plus lourdes que l'air et subsistent sans s'y mélanger dans les lieux bas et humides. Elles peuvent s'accumuler par couches très-épaisses, qui, pour les uns, produiraient l'asphyxie des chauffeurs et, pour les autres, l'explosion et

l'incendie. On conçoit que des dangers aussi redoutables aient éloigné de l'emploi des machines à vapeur combinées, d'autant que la ventilation, facile à opérer dans les établissements industriels construits au-dessus du sol, devient difficile et imparfaite dans toutes les parties de la cale d'un navire. Aussi lorsqu'on a employé un liquide aussi inflammable que l'éther on a pris toutes les précautions usitées pour les soutes à poudre et les mines sujettes au grisou. C'est pour cela que les machines à vapeurs combinées n'ont été employées que sur des navires en fer; et qu'elles ont été placées entre deux cloisons en tôle étanches sur toute leur surface et leur contour. Elles n'ont communiqué avec la chaudière que par le tuyau de vapeur; elles ont été placées aussi haut que possible, et elles n'ont reçu de lumière qu'à travers des lentilles comme les soutes à poudre. Pour visiter les diverses parties de l'appareil, on s'est servi de lampes de Davy.

D'après cela, quelque dispendieux que soient les liquides non inflammables, tels que le chloroforme, il n'y a pas à hésiter pour les navires de guerre construits en bois, à les adopter à la place de ceux inflammables et explosibles, tels que l'éther sulfurique et le perchloride de carbone employé en 1848 par M. Du Trembley. Aussi M. Lafond, lieutenant de vaisseau, a rendu un grand service en comprenant les nécessités des bâtiments de guerre et en faisant en juin 1848 des expériences sur le chloroforme, dans une machine construite en 1847 chez M. Beslay, pour faire des expériences sur les vapeurs combinées d'éther et d'eau. En effet, si pour des navires du commerce, construits en fer, il est possible de mettre une machine à éther dans des conditions satisfaisantes de sécurité, il n'en sera jamais de même pour un navire de guerre, dont la construction toujours en bois exclut l'emploi de cloisons étanches, pour isoler l'appareil du reste du navire et des chaudières. En outre, la machine du navire de guerre est nécessairement placée au fond de la cale et à l'abri du boulet : il n'y aurait donc aucun moyen de ventilation capable d'expulser des vapeurs pesant beaucoup plus que l'air. Aussi quelle que soit l'influence du chloroforme sur l'organisation animale, on ne saurait, dans l'état actuel des connaissances, employer un autre liquide sur les navires de guerre, et l'odeur de noisette qu'il exhale suffit probablement pour prévenir les dangers de l'asphyxie; mais il reste à savoir si le séjour prolongé dans un air chargé de telles vapeurs n'est pas nuisible à la santé.

La température plus ou moins élevée de la vaporisation du liquide auxiliaire exerce peu d'influence sur le travail qu'il produit, en ce que s'il est très-vaporisable, il est aussi très-difficile à condenser, et que dans son cylindre la pression, très-élevée du côté de la vapeur, ne peut être suffisamment abaissée de celui du condenseur : au contraire, le liquide moins vaporisable produit moins de pression, mais un meilleur vide. Il y a donc là une compensation, qui rend le résultat dynamique le même malgré une grande différence dans le point d'ébullition : ainsi le chloroforme, qui sous la pression atmosphérique ne bout qu'à 59°, produit autant de force dans le second cylindre que l'éther qui entre en ébullition à 38°. Dans un climat où l'eau est à des températures assez basses, ainsi que l'intérieur du navire, l'éther donne de bons résultats ; il est préféré par M. Du Trembley ; mais pour la navigation tropicale, où l'eau est souvent de 25° à 28° de température le long du bord et l'intérieur du navire beaucoup plus chaud, il est probable que la condensation de l'éther sera très-difficile et qu'elle exigera de grandes surfaces réfrigérantes.

Sur mer, les dépôts de sel font souvent consommer 5 ou 6 kilogr. de combustible par cheval, tandis qu'à terre les appareils à vapeur du même genre fonctionnent avec 2^k,50 à 3 kilogr., par cela seul qu'ils emploient de l'eau douce. Les machines à vapeurs combinées présentent le même avantage puisqu'elles n'emploient que de l'eau distillée ; elles fonctionnent sans danger à des pressions de 2 à 3 atmosphères, comme sur les rivières. M. Du Trembley résume ainsi les économies dues à l'emploi des vapeurs combinées : 1° 50 pour 100 sur la dépense, par suite de la force obtenue du cylindre à vapeur auxiliaire ; 2° 33 pour 100 sur l'alimentation du cylindre à vapeur d'eau, par suite de l'emploi de l'eau distillée ; 3° 10 pour 100 par suite de la suppression des extractions. D'après cela, il conclut que les machines à vapeurs combinées ne dépenseront que 1^k,50 par force de cheval, et il admet en moyenne 2 kilogr. 4° La détérioration si rapide des chaudières est beaucoup moindre ; 5° l'économie de 70 pour 100 du combustible diminue proportionnellement le volume et le poids de l'appareil évaporatoire et de son eau, et le réduisent à environ $\frac{1}{3}$ de ce qu'il est d'habitude ; 6° l'économie du charbon se fait en poids comme en argent, et permet soit l'augmentation de vitesse, soit celle des objets embarqués, soit encore la distance parcourue.

Telles sont les particularités les plus remarquables des machines à

vapeurs combinées; elles sont extraites de l'ouvrage publié par M. Du Trembley, en 1851, sous le titre de *Manuel du conducteur des machines à vapeurs combinées ou machines binaires* (imprimerie de Louis Perrin, rue d'Amboise, 6, quartier des Célestins, Lyon). L'auteur y détaille avec soin toutes les parties de son appareil, et la manière de réparer et d'éviter les avaries. Quand les appareils à vapeurs combinées seront plus usités, on y trouvera des documents intéressants; mais, comme jusqu'à présent l'usage ne s'en est pas répandu, il convient de se borner aux détails précédents, dont le but a été seulement de donner une idée d'une manière aussi nouvelle qu'ingénieuse d'employer la force de la vapeur.

La machine à vapeurs combinées a déjà une assez longue expérience; celle de 50 chevaux pour les deux vapeurs réunies, employée à une cristallerie de Lyon, fonctionne depuis près de sept ans sans interruption ni accidents, et l'appareil du *Du Trembley* est en service par les deux vapenrs depuis plus de deux ans. Il a été expérimenté avec soin par la commission de surveillance dn port de Marseille, qui a constaté que la consommation d'éther n'était que d'un demi-litre par heure, ce qui, au prix de 2 fr. le litre, porte la dépense à 1 fr. pour 70 chevaux. Des expériences de $36^h50'$ ont donné $2860^k,90$ de charbon brûlé, ce qui porte la consommation à $77^k,67$ par heure, ou à $1^k,11$ par cheval et par heure. Avant de fonctionner avec les vapeurs combinées, *le Du Trembley* a eu 2818 heures de chauffe avec la seule vapeur d'eau et a brûlé 851 950 kilogr. de charbon, soit 302 kilogr. par heure et $4^k,40$ par cheval. Ce qui exprimerait une économie de 74 pour 100, et de 72 pour 100 relativement aux appareils ordinaires qui brûlent 4 kilogr. par cheval et par heure. Quand même une expérience prolongée ne confirmerait pas entièrement ces chiffres, on n'en est pas moins assuré d'une économie qu'aucun système de machine n'avait encore présenté. Aussi, les résultats du navire *le Du Trembley* ont inspiré assez de confiance à MM. Arnauld et Fouache, ses constructeurs, pour commander à l'usine de M. Cavé trois appareils de 320 chevaux, dont les condenseurs et les vaporisateurs sont exécutés dans l'établissement spécial de M. Palmer. Ces machines différeront de celles du *Du Trembley* en ce qu'elles auront trois cylindres verticaux et adjacents, agissant sur le même arbre à manivelles; le premier recevra la vapeur d'eau et vaporisera l'éther qui agira par détente dans les deux cylindres suivants, comme le fait la vapeur dans les appareils de Woolf. De la sorte, la vapeur d'éther n'éprouvera pas les refroidissements de la

détente opérée dans le même cylindre, et arrivera néanmoins beaucoup moins chaude au condenseur. Ces paquebots sont destinés au service entre Marseille et Rio-Janeiro, et il sera curieux de connaître comment leurs appareils auront fonctionné avec les chaleurs des pays tropicaux et de l'eau à 27° ou 28° le long du bord. C'est pour d'aussi longs trajets que l'économie constatée de 50 à 60 pour 100 du combustible présente le plus d'importance. Car plus le voyage est long, plus il faut de jours de charbon, et il y a des distances ou des vitesses qui prendraient pour le combustible tout le tonnage disponible. Économiser la moitié de ce dernier permet donc de prendre un chargement considérable et dont le fret est d'autant plus lucratif que la distance à parcourir est plus grande. Il en résulte donc que, quand même la dépense en liquide auxiliaire compenserait l'économie en argent du charbon, il n'en existerait pas moins un avantage considérable à employer les machines à vapeurs combinées pour de longs trajets. C'est moins important pour de petites traversées, puisque alors l'approvisionnement est si peu considérable qu'il n'influe pas beaucoup sur la quantité de marchandises embarquées.

Il a été déjà question des dangers de l'emploi de l'éther; ils sont aussi à redouter que ceux du gaz d'éclairage et beaucoup augmentés par les dispositions intérieures des navires : aussi M. Lafont, lieutenant de vaisseau, comprenant l'importance de mettre le moteur à l'abri du boulet à bord des navires de guerre, proposa l'emploi du chloroforme dans un projet approuvé par le ministre le 23 septembre 1850. Des plans combinés par M. Lecointe, ingénieur de la marine, et M. Lafond, servirent à confectionner dans les ateliers de l'État l'appareil de l'aviso *le Galilée*. Malheureusement on refit à Lorient l'apprentissage qui avait coûté tant de temps à M. Du Trembley pour confectionner le condenseur et le vaporisateur : un grand nombre de tubes furent mal soudés, et après beaucoup de lenteurs occasionnées par les réparations partielles, l'appareil fonctionna en juin 1853. Ses dimensions sont pour le cylindre à vapeur d'eau : diamètre $1^m,16$, course $1^m,10$, volume du cylindre $1^{m3},123$. Pour celui à vapeur de chloroforme : diamètre $1^m,30$, course $1^m,10$, volume $1^{m3},460$; l'introduction dure 0,60 de la course : le rapport de la puissance des deux cylindres est, eu égard à leur introduction et à leur vide, de 1 à 1,55. La disposition générale de l'appareil ressemble à celle de la machine à éther, et la consommation de combustible n'a été dans les expériences que 0,49 des appareils ordinaires. Après avoir bien fonctionné au commencement de

ses expériences, la machine a éprouvé dans son vaporisateur des fuites assez fortes pour l'empêcher de continuer, et *le Galilée* est venu à Paris pour faire confectionner de nouveaux vaporisateurs et condenseurs chez M. Palmer, dont la pratique éclairée évitera de nouvelles pertes de temps et hâtera la solution d'une question aussi importante pour la marine.

CHAPITRE IX.

NOTICE SUR LES MACHINES A AIR CHAUD.

Pour se former une idée générale de la manière dont agit un gaz dilatable employé à produire de la force motrice, on peut imaginer deux cylindres de volumes différents dans le rapport de la dilatation du gaz pendant qu'il s'écoule de l'un à l'autre. Supposons, par exemple, que le gaz double son volume et que des pistons aient, l'un 1000 centimètres cernés de surface, et l'autre 2000. Pour plus de simplicité, admettons que ces pistons ont la même course et sont liés entre eux par des tiges, de manière à ne se mouvoir qu'en conservant la même distance respective et en agissant l'un sur l'autre. Supposons en outre que la pression soit établie eu même temps dans les deux cylindres par de l'eau comprimée dans le conduit qui les réunit : le refoulement de cette eau remplaçant pour le moment la dilatation dont il sera ensuite question. L'eau étant refoulée de la sorte dans le tuyau intermédiaire, exercera partout des pressions égales, et si cette pression est d'une atmosphère, chaque centimètre supportera un kilogramme. Or, un des pistons n'a que 1000 centimètres carrés de surface, tandis que l'autre en a 2000 : celui-ci entraînera donc le premier avec la force relative à l'excédant de sa surface ou de la somme des pressions qu'il éprouve, c'est-à-dire avec 1000 kilogr. Il y aura donc une force et un mouvement produits par la cause extérieure qui a occasionné en même temps l'augmentation de volume ou le gonflemeut de l'eau dans les deux cylindres. Si la pression intérieure était de cinq atmosphères au lieu d'une, il en résulterait que l'une supportera un effort de 5000 kilogr. et l'autre de 10 000 kilogr.; la différence 5000 kilogr. sera l'effort réellement exercé par l'appareil. Par conséquent, les mêmes pistons qui, avec une pression d'une atmosphère, n'étaient capables de soulever, par exemple, que 1000 kilogr., se trouvent en état d'entraîner 5000, par çela seul que la pression intérieure est changée. Ce fait est à remarquer pour le moment, parce que plus tard il montrera l'avantage de faire fonctionner les machines à air chaud à une pression élevée. Il ne fait que rappeler ce qui se passe dans la presse

hydraulique, et, à bien dire, dans tous les appareils à pression intérieure exercée soit par des liquides, soit par des gaz.

Mais si l'augmentation de volume est produite par une cause physique au lieu de l'être par une impulsion mécanique, le développement de force n'en aura pas moins lieu. Ainsi, en supposant que dans un appareil disposé comme on l'a expliqué, tout soit plein d'air au lieu de l'être d'eau, et qu'une action naturelle telle que celle de la chaleur vienne augmenter la pression en cherchant à faire occuper un volume double, cet air ainsi dilaté pressera de toutes parts également et produira sur les deux pistons inégaux la différence d'effort dont il vient d'être question. Il en est de même dans la machine à vapeur : entre la pompe alimentaire et le piston à vapeur se trouve la chaudière, qui change énormément le volume en transformant l'eau en gaz. La pression qui en résulte est la même sur les deux pistons, et la grande différence de leur surface est la cause de la force produite. Pour que tout soit en rapport, cette différence (si les courses sont égales) est en raison de la dilatation éprouvée par l'eau en se transformant en vapeur pendant qu'elle se rend de l'un des cylindres à l'autre. Ainsi, dans le cas où l'eau est chauffée à 100°, le volume de sa vapeur est 1700 fois aussi grand ; le piston de la pompe fonlante n'aurait alors en surface que le $\frac{1}{1700}$ de celle du piston moteur, et la force exercée par chacun d'eux serait dans le rapport de 1 à 1700.

Puisque l'air est dilatable, il produit aussi de la force lorsqu'il est placé en position d'agir, comme on vient de l'expliquer; seulement il ne le fait pas dans le même rapport que l'eau, parce que sa dilatation est très-petite relativement aux températures. Ainsi son accroissement de volume est uniforme et n'est que de $\frac{1}{270}$ pour chaque degré centigrade : il faut donc élever sa température de 270° pour doubler son volume, de sorte que s'il est pris à 20°, il faut le porter à 290° pour n'obtenir que ce résultat. Par conséquent, pour l'employer à cette température dans une machine disposée comme on l'a détaillé plus haut, il faudra théoriquement que les deux pistons soient dans le rapport de 1 à 2. Mais comme en pratique le refroidissement et beaucoup de causes exercent des influences nuisibles, il faut que la surface du petit piston soit les $\frac{1}{3}$ de celle du grand, et il ne reste pour l'effet utile de l'appareil que le tiers de la force réellement produite, tandis que dans la machine à vapeur ce ne serait que $\frac{1}{1700}$, si la pompe alimentaire n'était pas plus forte qu'il ne faut pour parer à différentes éventualités. Aussi on ne mentionne pas, d'habitude, le travail de servitude absorbé par cette pompe, parce qu'il

est aussi peu nuisible qu'il l'est dans un grand rapport avec la machine à air.

L'air employé comme la vapeur à haute pression produirait plus d'effet dynamique que l'eau à égalité de chaleur absorbée, à cause de son peu de capacité calorifique. Il offrirait donc de grands avantages, mais il est très-difficile à échauffer, en ce qu'étant par lui-même très-mauvais conducteur, il ne s'empare du calorique qu'à cause de sa transparence et surtout de son mouvement en contact de surfaces chauffées. Il en résulte que ces dernières sont nécessairement portées à des températures très-hautes et nuisibles à la durée des métaux employés. Aussi dans le cas où l'appareil à air chaud serait borné à fonctionner comme celui à vapeur, c'est-à-dire à échauffer l'air pour le rejeter après avoir terminé son action sur le piston, il ne produirait pas autant d'effet utile, puisqu'aux difficultés physiques s'ajouterait la perte de plus des deux tiers de la force produite, employés pour l'usage de la machine : ce qui, joint au peu de dilatation, entraînerait à des cylindres de dimensions gigantesques. On n'a donc songé à utiliser l'air échauffé qu'en se servant d'autres procédés, dont les caractères distinctifs sont de récupérer une partie de la chaleur à la sortie de l'air pour la restituer à la rentrée dans l'appareil, ou d'obtenir les dilatations et les contractions en se servant du même air exposé alternativement à des surfaces froides ou chaudes et sans employer d'appareil alimentaire.

Depuis que les machines à air chaud ont excité l'intérêt par les résultats annoncés en Amérique lors des expériences de M. Ericsson, on a recherché les différents essais antérieurs, et plusieurs inventeurs sont venus réclamer la priorité de quelques-unes des idées mises en pratique. Sans entrer dans des comparaisons de dates des diverses inventions, je vais donner une idée des appareils dont il m'a été possible de connaître les détails, et je commencerai par celui de M. Ericsson, parce que j'ai été à même de l'examiner avec soin avec MM. Guiesse et Vilain, ingénieurs de la marine, envoyés comme moi par le ministre pour faire des expériences sur la machine déposée au Havre chez M. Mazeline.

Cette machine est formée de deux cylindres placés l'un au-dessus de l'autre; le plus bas est échauffé par-dessous, et a $1^m,52$ de diamètre; son piston est lié par quatre tiges à celui du cylindre supérieur dont le diamètre est de $1^m,24$; de sorte que sa surface est les $\frac{2}{3}$ de celle du premier, tandis que les courses sont égales. Le piston travailleur, c'est-à-dire le plus grand a sa partie supérieure à l'air libre, il est très-épais et rempli

de plâtre ponr diminuer les pertes de chaleur et l'évaporation des graisses employées à lubréfier la garniture placée à sa partie supérieure. Le fond et le bas du contour de ce cylindre, placés au-dessus du foyer, se trouvent recevoir une chaleur intense : il est établi sur une grande caisse en tôle servant de récipient à l'air refoulé à une pression convenable avant de marcher. Le cylindre supérienr est aussi à simple effet, mais il est onvert par le bas et refoule ou aspire l'air par le haut, qui est fermé et mnni de deux soupapes s'ouvrant en sens contraire. Ce cylindre joue le rôle de pompe alimentaire, et outre les deux soupapes nécessaires à son fonctionnement, il en a une troisième s'ouvrant par le mouvement de la machine pour laisser un passage plus facile à l'air aspiré dans la pompe.

L'air froid refoulé parcourt un tuyau qui le conduit à la boîte où se trouve le paquet de toiles métalliques, dont il sera plus tard question, et se rend par un autre conduit dans le réservoir inférieur. C'est dans ce dernier qu'est établi le foyer dont le carneau s'élève jusqu'à environ la moitié de la hauteur du cylindre pour échauffer le plus de surface possible. La boîte des toiles métalliques à deux sonpapes correspondant à des compartiments séparés ; l'une sert à l'introduction de l'air dans le cylindre, l'autre à son évacuation ; elles sont toutes deux manœuvrées par des cames placées sur l'arbre; sur le côté de la boîte opposé à l'arrivée de l'air, est l'orifice d'évacuation avec son papillon pour le fermer et tout arrêter. Les toiles métalliques sont formées de fils de fer entrelacés, laissant entre eux des espaces vides plus grands que la somme des pleins : ces grillages, à mailles carrées, sont placés au hasard et forment un paquet d'environ $0^{m},20$ d'épaisseur, à travers lequel le passage paraît très-difficile. Elles sont placées devant les orifices de manière à ce que l'air soit forcé de les traverser en entrant dans le cylindre comme en sortant.

D'après ce qui vient d'être dit, voici quel est le jeu de la machine : Supposons les pistons au sommet de leur course, l'air, suffisamment échauffé par le foyer, et comprimé an point voulu dans le réservoir inférieur par une pompe foulante, les deux pistons produiront des efforts différents, et en raison de leur surface. Si alors on onvre la soupape d'évacnation, l'air s'échappera à travers les toiles en les échauffant, et le grand piston descendra par son poids, entraînant le piston de la pompe alimentaire (nous appellerons ainsi le petit cylindre supérieur), qui se remplit d'air par ses soupapes. Arrivée an bas de sa course, la soupape d'évacnation se ferme, celle d'admission s'ouvre et laisse affluer l'air froid dn réservoir et de la pompe alimentaire; cet air traverse les toiles et reprend

la chaleur laissée lors de sa sortie de celui du grand cylindre, et se dilate en allant d'un piston à l'autre. Ce courant dure tant que la soupape d'admission est ouverte, et fait monter les pistons, parce qu'en passant dans les toiles l'air s'est échauffé et a éprouvé cette augmentation de volume dont j'ai d'abord parlé, et qui est la source de la force. Si rien n'était perdu, et qu'il n'y eût pas de frottement, cette disposition ferait croire à une sorte de mouvement perpétuel : mais tout se refroidit, et c'est pour réparer les pertes de cette nature que le fond et les côtés du cylindre sont chauffés par le foyer contenu dans le réservoir. La pression exercée dans ce dernier et dans tout l'appareil n'était portée qu'à une atmosphère, ce qui mettait la machine dans le premier cas cité, et lui faisait avoir de très-grandes dimensions relativement à son peu de puissance. Elle avait été annoncée comme devant produire 10 chevaux, mais elle n'en a donné au maximum que 3,27 de 75 kilogrammètres mesurés avec le frein de Prony, en brûlant au moins 3k,53 de coke. Ces résultats médiocres ont été en partie attribués au mauvais état de l'appareil et aux fuites de son réservoir et de son piston plutôt qu'au système qui, grâce à l'effet des toiles métalliques, est de nature à présenter une économie considérable.

Les toiles métalliques agissent d'une manière très-remarquable : elles prennent et rendent la chaleur avec une rapidité étonnante. Ainsi l'air qui sortait du cylindre avec une température moyenne de 497 à 350° n'en avait que 119 à 109° en quittant les toiles ; et comme l'air ambiant était à peu près à 30°, il en résulte que la chaleur non absorbée par les toiles n'était guère que de 89 à 75°. En rentrant dans le cylindre sous la pression de la pompe alimentaire, l'air intérieur reprenait toute cette chaleur, puisque la température des toiles ne changeait plus au bout de quelque temps : il en résultait que presque toute la chaleur de l'air contenue dans le cylindre était prise au passage et rendue 45 fois par minute, et cela sans produire le moindre obstacle à l'écoulement dans les toiles, comme le constataient les courbes d'indicateur prises sur les deux cylindres. Ce dernier fait est d'autant plus remarquable, que les toiles de l'appareil expérimenté étaient loin d'être bien disposées relativement aux orifices d'entrée ou de sortie, et qu'une grande partie de leur surface était inutile. En outre, le fer a très-peu de capacité calorifique ; quoique bon conducteur, il ne laisse pas pénétrer ou sortir instantanément la chaleur ; aussi, quoique l'air ait très-peu de chaleur spécifique, il n'en est pas moins étonnant qu'il abandonne ou prenne aussi complétement la chaleur, et qu'il l'opère aussi rapidement.

L'emploi des toiles métalliques pour récupérer la chaleur a, depuis, été revendiqué par plusieurs inventeurs ; elles n'ont peut-être été appliquées aux machines que d'après l'idée première d'un nommé Jeffrey, qui proposa de placer des toiles de cette nature devant la bouche des personnes poitrinaires, pour maintenir l'air respiré à une température à peu près uniforme, en lui faisant reprendre au passage la chaleur laissée par celui expulsé des poumons.

La machine déposée au Havre a été relevée avec soin et étudiée par M. Lissignol, ancien élève des mines, qui en a publié un relevé exact, ainsi que la description et des calculs intéressants à son sujet.

La machine d'Ericsson a été placée sur un navire nommé *le Caloric-Ship* de 79^m,3 de long sur 12^m,20 de ban et 8^m,08 de creux, mu par des roues à aubes de 9^m,76 de diamètre. L'appareil est disposé comme celui dont on vient de lire les détails; son cylindre travailleur a 4^m,27 de diamètre ou 143 201 centimètres carrés de surface; le piston alimentaire a 3^m,47 ou 94 569 centimètres carrés; la course commune est de 1^m,83. La pression était de 0^k,84 par centimètre carré. Ces cylindres furent trouvés trop petits. Depuis on a opéré de grandes modifications; le nombre des cylindres a été porté à six, dont deux contiennent les pistons et agissent à double effet, et la pression intérieure a été augmentée. Malgré ces nouveaux efforts, *le Caloric-Ship*, après avoir excité l'intérêt public, est tombé dans l'oubli; ce qui fait supposer que les résultats ont été moins heureux qu'on ne l'avait d'abord annoncé[1].

Il y a environ trente ans qu'un bateau nommé *High Land lad*, a servi au passage de la Clyde avec une machine calorique de l'invention du révérend M. Stirling; elle imprimait peu de vitesse et développait environ 20 chevaux; elle fut mise à terre parce que les différentes parties détériorées par la chaleur se détachaient d'elles-mêmes, et fut remplacée par une machine à vapeur. Un autre appareil de M. Stirling a longtemps fonctionné dans une manufacture, à Dundes, et le *Mechanic's magasine* de 1846 (vol. XLV, pages 559 et suivantes) en a donné une description dont voici les traits principaux : Deux forts vases étanches sont unis aux bouts opposés d'un cylindre, dans lequel fonctionne un piston ordinaire; les quatre cinquièmes environ de l'intérieur de ces vases sont remplis par des pistons plongeurs qui, suspendus aux extrémités d'un balancier, montent ou descendent alternativement. Ces pistons, pleins de matière

1. Extrait de divers journaux étrangers.

non conductrice, repoussent l'air du bout de chaque cylindre à l'autre, et comme l'une des extrémités de ce dernier est tenue chaude, tandis que l'autre est froide, l'air éprouve des dilatations ou des contractions, et le mouvement alternatif des deux pistons fait que, lorsque l'air d'un cylindre est échauffé, l'autre est refroidi. Le piston moteur, placé au milieu et soumis à ces alternatives de la pression augmentée par la chaleur ou diminuée par le froid, fonctionne comme celui d'une machine ordinaire. Le même air agit toujours dans cet appareil, et son effet est d'autant plus énergique que sa pression est plus élevée; une pompe lui donne dans le principe et maintient ensuite la tension nécessaire. Si l'appareil se bornait à échauffer et refroidir ainsi l'air, il serait plus dispendieux que la vapeur; mais pour utiliser la chaleur de l'air sortant du cylindre au profit de l'air entrant, on le fait passer à travers une multitude de passages étroits qui jouent le même rôle que les toiles métalliques, et qui ne forcent le foyer qu'à fournir la chaleur nécessaire à remplacer les pertes inévitables du rayonnement. La chaleur, après avoir été donnée par un chauffage direct, n'a plus été communiquée aux diverses parties que par de l'air échauffé.

La première machine avait 0m,305 de diamètre et 0m,61 de course; elle donnait 40 tours et élevait 700 000 livres d'un pied par minute; ce qui équivaut à 21 chevaux de Watt. On en fit une nouvelle de 0m,40 de diamètre, 1m,22 de course et 28 tours par minute; elle fonctionna deux ans sans réparations et donna au frein de Prony de 45 à 38 chevaux de Watt en ne dépensant que 272 kilogrammes en douze heures. La pression intérieure fut quelquefois de 16 atmosphères; dans une petite machine, on l'avait portée à 24. Mais à cause de l'effort exercé ainsi sur toutes les parties, et surtout des fuites qui en résultaient, on se borna généralement à 8 atmosphères de pression; mais on trouva qu'à 1 atmosphère la force était à peine suffisante pour mettre en mouvement, et que le travail produit augmentait en élevant la pression; ce qui permettait naturellement de réduire beaucoup le volume de la machine par rapport à sa puissance. L'air échauffé à 208° sortait à 48° après avoir traversé les passages étroits nommés *laminæ*. On trouva que la consommation de combustible, relativement à la puissance, était dans le rapport de 6 à 26 relativement à une machine à vapeur, qui n'était pas, il est vrai, dans de bonnes conditions. Le réfrigérant exigeait 4 pieds cubes d'eau par minute, et la température de cette eau augmentait de 16° à 18°. La machine était mise en mouvement en élevant et abaissant à la main les pistons plon-

geurs, et un excentrique continuait ce mouvement. On stoppait en déclanchant et mettant les pistons à mi-course. L'économie de la machine était prouvée par la petitesse de la grille, qui n'avait que $0^m,61$ sur $0^m,46$. La températnre du cylindre travailleur était, dit-on, moins élevée que celle d'une machine à vapeur.

Sir George Cayley avait cherché à construire une locomotive légère en faisant passer l'air dans le foyer et en le portant à une haute température; mais les tiroirs, les passages et les pistons furent bientôt détruits par la chaleur et le pulvérin de charbon. Sa machine consommait $4^{kil},5$ de charbon par cheval et par heure, tandis que celle de M. Stirling n'allait qu'à $1^{kil},3$. Dans la discussion des propriétés de cette dernière machine, détaillée par le *Mechanic's magasine*, on trouve plusieurs principes curieux sur les appareils à air chaud, et on voit combien ils avaient été déjà étudiés à cette époque.

En France, les essais sur la machine à air chaud, dont j'ai eu connaissance, ont été faits sur de petites échelles par MM. Franchot, Lemoine et Lobereau. Voici en quoi ont consisté leurs expériences. Dans un mémoire présenté à l'Académie le 10 août 1840, et inséré dans *le Technologiste* du mois d'octobre de la même année, M. Franchot expose les avantages théoriques de l'air pour obtenir nne puissance motrice du feu, et décrit le genre d'appareil qu'il emploie, tout en lui faisant subir, suivant les circonstances, des modifications très-importantes. Il se compose, en général, d'un cylindre creux nommé générateur, clos par une extrémité et terminé à l'autre par une surface mobile propre à trausmettre à l'extérieur les changements de volume. Dans l'intérieur du premier cylindre s'en trouve un second nommé refonloir; il est mobile et s'approche autant que possible des parois du premier. Il n'occupe que les trois quarts de la hauteur entre le fond fixe et celui qui est mobile, et est mis en mouvement par une tige extérieure. Le générateur est chauffé du côté du fond fixe et refroidi du côté mobile; lorsque le refonloir monte ou descend, l'air passe entre lni et le générateur et prend la température de la partie, où on lui laisse un espace libre. En se rendant de l'un à l'autre, il traverse nn canal intérieur rempli de feuilles métalliques cannelées ou de fragments de métal très-mince. L'air en mouvement dans l'appareil prend subitement la température de l'espace où il est conduit; il en résulte qu'on pent comparer cet appareil à une pompe dont le bas est chaud tandis que le haut est froid, et dont le piston a un grand volume et fuit par les bords. S'il descend, il déplace l'air et

le fait aller dans la partie chaude; s'il monte, il le force à occuper l'espace froid, et il produit ces effets sans exiger aucune force, puisqu'il ne fait que changer de place sans refouler ou aspirer, comme une pompe alimentaire. Un tel appareil produit donc la différence de dilatation sans exiger de la force comme celui d'Éricsson, et les toiles métalliques opèrent une restitution de chaleur très-utile. M. Franchot emploie également une pression élevée, et, dans ses expériences, il est allé jusqu'à 6 atmosphères; il utilise les changements de volume au moyen d'un piston ordinaire, qui se meut dans un cylindre, communiquant par chaque bout avec un de ses générateurs; de sorte que lorsque l'un de ces derniers produit de la dilatation par la chaleur, l'autre éprouve de la contraction par le froid, et le piston est poussé tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre par ces deux causes. M. Franchot est maintenant occupé à exécuter un appareil chaud dans les ateliers de la Marine à Indret.

M. Lobereau a exécuté à Paris, sous le nom de moteur thermo-pneumatique, un petit appareil du même genre, composé de deux longues caisses à double fond nommées récipients, sous lesquelles est le feu. Ces caisses, plates en dessus, sont demi-cylindriques et doubles en dessous; elles servent à réchauffer l'air de la partie inférieure de l'appareil. A une distance convenable, en dessus, est une autre double enveloppe en tôle pleine d'eau en circulation pour refroidir; entre les deux se trouve une grande caisse en tôle nommée poêle mobile, dont le dessous, en demi-cylindre, s'applique sur la partie ronde du récipient, tandis que le dessus, presque plat, s'assortit à la forme de la caisse à eau froide. Le poêle mobile ne laisse entre ses parois et celles qui l'entourent que l'espace nécessaire au passage de l'air; il est, en outre, rempli de plâtre pour séparer autant que possible le froid du chaud. Il y a deux appareils de cette sorte placés aux deux côtés du cylindre moteur, et communiquant avec lui par le haut et par le bas au moyen d'orifices et de tubulures. Un mécanisme d'excentrique fait alternativement monter et descendre les poêles mobiles; si celui de droite, par exemple, est en haut, il a fait passer l'air sous lui, c'est-à-dire dans la partie échauffée. Cet air se dilate et pousse le piston par en dessous; mais, en même temps, l'autre poêle est au bas de course; il présente donc sa partie froide, et l'air contracté diminue la pression en dessus. Le piston est donc poussé avec la différence de dilatation due à ces deux causes, et le renversement de position des poêles lui donne alternativement l'impulsion. Pour arrêter la machine, il n'y a qu'à maintenir les

deux poêles à mi-course. M. Lobereau n'emploie point de toiles métalliques, et se borne à accumuler à l'avance une grande quantité de chaleur dans les parties métalliques du récipient, qu'il porte à 250° ou 300° centigrades; il ne fait pas non plus usage d'une pression élevée dans l'intérieur de son appareil; de sorte que, pour produire une puissance convenable, son système exigerait des dimensions énormes.

M. Louis Lemoine, de Rouen, s'est aussi occupé des machines à air chaud; il a pris, le 26 mars 1847, un brevet pour un appareil de ce genre, et, le 2 septembre 1848, un certificat d'additions pour l'emploi spécial des toiles métalliques. Il a construit une petite machine qu'il a eu la complaisance de faire fonctionner devant moi : ce n'était, à vrai dire, qu'un modèle dont je vais chercher à donner une idée, d'après la figure et la description du certificat d'additions du 2 septembre 1848. L'appareil se compose de deux cylindres : l'un, de grande dimension, servant à échauffer ou refroidir pour produire les dilatations et les contractions successives; l'autre, beaucoup plus petit, employé à utiliser ces changements de volume pour produire une force. Le premier est établi au-dessus d'un foyer et enveloppé, vers le haut, d'une chemise pleine d'eau froide en circulation; le couvercle a des rebords et est également baigné d'eau. Au contraire, le dessous du cylindre est entouré de la maçonnerie du foyer et découpé, de haut en bas, en plusieurs conduits à sections rectangulaires pour augmenter la surface de chauffe. Dans l'intérieur se trouve ce que M. Lemoine nomme son grand piston, jouant le rôle des déplaceurs ou des refouloirs des systèmes précédents, mais disposé d'une manière toute différente. Il est complétement à jour; sa partie supérieure est circulaire et formée de nombreuses toiles métalliques en cuivre superposées et soutenues par un châssis et un entourage joint à la tige. Au-dessus de ces toiles est un serpentin réfrigérant de $0^m,015$ de diamètre qui, par ses nombreux replis, forme plusieurs couches de tuyaux entremêlées d'autres toiles métalliques. La tige est entourée d'un canal par lequel entre et sort l'eau en circulation dans le serpentin au moyen de tubes en caoutchouc pour l'arrivée et la sortie. Le dessous est formé de sortes d'augets en tôle destinés à remplir les espaces rectangulaires que nous avons dit être pratiqués dans le fond du cylindre pour augmenter les surfaces de chauffe. Ces augets sont remplis de charbon pilé et de plâtre : leur but est d'absorber la chaleur du foyer et de la rendre ensuite. D'après cela, le haut du grand cylindre est froid, le bas, au contraire, est chaud : l'air contenu prendra donc la

température de la partie qu'on lui fera occuper. C'est en faisant monter ou descendre ce grand piston qu'on obtient ces changements comme avec les refouloirs, mais avec cette différence, qu'offrant de toutes parts des passages à travers les toiles métalliques et les replis de son serpentin, il donne lui-même la température de la partie qu'il fait occuper par l'air en se transportant à l'autre. Pour utiliser ces alternatives de dilatation et de contraction, le grand cylindre communique avec les extrémités du cylindre moteur et fait éprouver au piston de ce dernier les alternatives qu'il produit par sa translation. Un balancier commun réunit ces mouvements et les communique à l'arbre par une bielle. Au lieu de faire éprouver directement les changements de volume au piston, M. Lemoine les transmet à deux vases clos, qu'il nomme compensateurs : l'un, de 500 litres de capacité, a vingt-une fois le volnme du cylindre travailleur, l'autre a 900 litres; l'air est à 4 atmosphères dans le premier et à 5 dans le second. Pour mettre la machine en mouvement, des robinets et des tiroirs mettent ces compensateurs en communication avec les extrémités convenables du cylindre travailleur, et par leur différence de pression entraînent son piston. Mais comme le grand piston percé à toiles métalliques suit le même mouvement, il échauffe ce qui était froid, et réciproquement, tout en restituant une partie de la chaleur par ses toiles intermédiaires, et comme le piston travailleur est à simple effet, il recomprime l'air du compensateur qui lui avait donné l'impulsion pour tout remettre dans l'état primitif[1].

Il y a eu probablement beaucoup d'autres essais tentés pour employer l'air échauffé comme force motrice; je n'ai pu les recueillir et en donner connaissance. Mais il est probable qu'ils sont basés sur les mêmes principes que ceux dont je viens de chercher à donner une idée, et qui, s'ils n'ont pas résolu le problème, dénotent néanmoins de la part de leurs inventeurs beaucoup de savoir et de persévérance.

1. M. Lemoine a publié ses inventions sous le titre de l'*Emploi des toiles métalliques dans les machines à air chaud, et de leur application dans un système particulier*. A Rouen, chez M. Dubus, rue Beauvoisine; à Paris, chez Carillan-Gœury, quai des Augustins, 49.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES

COMMUNE AUX DEUX PARTIES DE L'OUVRAGE.

C

D

E

F

G

I

N

O

P

U

V

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

Ch. Lahure, imprimeur du Sénat et de la Cour de Cassation (ancienne maison Crapelet), rue de Vaugirard, 9.



NOMS DES NAVIRES.	MACHINE. Diamètre des cylindres.	Nombre de cylindres.	Course.	Nombre de coups de piston.	NOMS des FABRICANTS.	GENRE DE MACHINE. DÉTAILS.
Osprey.	m. 0,90	2	0,610		Caird et Cie, Greenock.	Cylindres renversés.
Pirate et Brigand.	0,75	2	0,76		Smith et Rodger, Glascow.	En clocher à 4 tiges de piston.
Falcon.	0,90	2	0,61	77	Caird, Greenock.	Cylindres renversés.
Ayrshire Lass.....	0,457	2	0,610	95	Wingate.	Cylindres-renversés.
Apollo............	1,016	2	0,915		Smith et Rodger.	En clocher à quatre tiges.
Humming Bird....	0,90	2	0,915		R. Napier.	Machine à balancier supér., comme celles de terre.
Kestrel	0,90	2	0,61		Caird.	Cylindres renversés.
Secret.	0,74	2	0,61		Caird.	Cylindres renversés.
Camerton.	1,016	2	1,07	64	Napier.	Machine à balancier supérieur, 200* de marchandises.
Erin's Queen......	0,533	2	0,61	72	Caird.	Demi-balancier.
Lady Seale.......	0,686	2	0,686	11 ou 22 suivant l'engren.	Marshall.	Demi-balancier supérieur.
City of Glascow....	1,676	2	1,625		Tod et Mac Gregor.	Balancier supérieur.
Mars..	1,016	2	0,915	46	Smith et Rodger.	Machine en clocher à 4 tiges du système D. Napier, largeur de l'engrenage 0m,46.
Astrologer.	1,132	2	0,915		D. Napier.	En clocher à 4 tiges.
Albatross..........	1,142	2	0,915	42	D. Napier.	En clocher à 4 tiges.
European..........	1,046	2	0,916	42	D. Napier.	En clocher à 4 tiges.
Arno.............	1,213	2	0,838	60	J. et G. Thomson, Glascow.	Cylindres renversés.
Monumental City (Américain).....	1,41	2	0,916	42	Murray.	Cylindres renversés.
Lochfine.	0,43	2	0,610	80	Tod et Mac Gregor.	Cylindres renversés.
Swanland.	1,010	2	1,067	42	Napier et Crichton.	Balancier supérieur et engrenage.
Glascow.	1,80	2	1,525	60	Tod et Mac Gregor.	Balancier supérieur et engrenage.
Propontis.........	0,916	2	0,61	58	Maudslay.	Cylindres inclinés.
Palmetto.	1,116	2	1,016		Beeder.	Cylindres renversés.
Times............	0,75	2	0,76	50	D. Napier.	Machine en clocher à 4 tiges de piston, pompe à air à double effet.
Cosmopolitan.	1,14	2	1,96	38 à 40	R. Napier.	Machine à balancier et engrenage.
Bengal.	2,032	2	1,524	27	Tod et Mac Gregor.	Machine à balancier et engrenage; poids des machines 232*, des chaudières 30*, de leur eau 28*.
Taurus.	1,27	0,84		64	Fulloch et Denny.	Machine directe, prend 260* de chargement, poids des machines 40*, chaudière avec l'eau 100*.
Santander.	1,016	0,916		36	D. Napier.	Machine en clocher à 4 tiges de piston, poids des machines 60*, des chaudières et de l'eau 46*.

* de moyenne d'An

** Moyenne entre Liv

Les éléme



…, ET UTILISATION PAR RAPPORT AU COMBUSTIBLE.

NOMS DES NAVI…	… par mètre carré.	CONSOMMATION de combustible par jour.	CONSOMMATION par heure.	UTILISATION par rapport au combustible.	NATURE DU SERVICE.	DÉTAILS.
		kil.	kil.			
Osprey…..					D'Halifax aux Bermudes.	Compagnie Cunard.
Pirate et *Bri*…						Glascow à Liverpool. Chipping et Cie. Tubes en fer.
Falcon…..					D'Halifax aux Bermudes.	Semblable à l'*Osprey* de la compagnie Cunard. Tubes en laiton.
Ayrshire Las…		4 870	203	277		Trois mâts.
Apollo……					De Londres en Hollande.	Porte 160 têtes de bétail sur le pont, 160 en bas, et 350 tonn. de marchandises. Les bas mâts très-élevés et les mâts de hune courts. Voiles goélettes.
Humming Bi…	9				Glascow.	S'appelait avant *Fire Queen*; lancé en 1845, a eu d'abord une hélice de Smith, et a filé 13 statute miles. En 1848 a pris une hélice à trois ailes de M. Napier. Trois mâts.
Kestrel….						Trois mâts, goélettes.
Secret……					Liverpool à Constantinople	Hélice en fer forgé. Trois mâts, goélettes.
Camerton…	0				Hull et Rotterdam.	Trois mâts. Voiles goélettes.
Erin's Queen	64	10 000	417	177	Belfast et Londres.	
Lady Seale.	72	7 580	345		Londres.	Trois mâts, goélettes. Deux angrenages pour tourner vite ou doucement; on a enlevé une rangée verticale de tubes; il en reste 160.
City of Glas…		30 000	1250	938		Trois mâts, barque.
Mars……	842				Waterford et Liverpool.	Tubes en fer. Trois mâts; voiles goélettes.
Astrologer..					Liverpool et Malte.	
Albatross..	493	24 900	912	880	Dublin à Liverpool.	Surface de grille 5mq,92. Tubes en fer; navire très-rapide pour la proportion de sa puissance à son tonnage. Trois mâts élevés, petits mâts de hune. Voiles goélettes.
European…	333	14 000	583	1873*	De Hambourg à Grangemouth, et de Londres à Glascow.	Prend 417t de marchandises indépendamment de la machine et du charbon.
Arno…….		20 000	833	927	De Liverpool à Alexandrie.	
Monumental Nav. améric…	493				De Panama à San-Francisco.	
Lochfine….	70				Sur le *Lochfine*.	
Swanland…	84	6 480	270	1845**	De Hull à Hambourg.	A été de Leith à Hambourg en 25 h. ½; il y a 250 milles. Prend 503t de marchandises et 45t de charbon.
Glascow….					De Glascow à New-York.	Chand de Lamb. Porte 1763t de marchandises, y compris 600t de charbon et 170 passagers. Grand mât, 25m,3; mât de misaine, 24,7: ces mâts sont en fer.
Propontis…	70	12 480	550	444	D'Angleterre au Cap.	Prend 32 passagers et 350t de charbon.
Palmetto….					De Baltimore à Charleston.	L'hélice est en bronze; tubes en laiton.
Times ……	00				De Liverpool à Dublin.	Trois mâts, goélette.
Cosmopolitan	423	29 000	1 208			
Bengal…..	842					Trois mâts, barque. A fait le trajet de Southampton à Gibraltar en 101 heures. Le *Gange* l'avait fait en 100, et le *Bentinck* en 112, avec des roues et une très-grande puissance.
Taurus…..	842	18 000	750	1469	Méditerranée.	Trois mâts, barque.
Santander..	842					Prend 65t de charbon. Aire de la maîtresse-section, 10mq,72. Déplacem. à 2m,74 de tirant d'eau, = 521t. Mâté en goélette.

* Ce chiffr…

** Cette uti…



NOM de la COMPAGNIE.	VITESSE à la vapeur.	VITESSE avec voiles et vapeur.	NOM du CONSTRUCTEUR des machines.	DATES.	GENRE de machines.	GENRE de chaudières.	UTILISATION relativement au charbon brut.
Royal West India Mail.	10,75	10,75		1851	double cyl.		1056
	9,75	9,75		1851	balancier.		839
	9,75	9,75		1851	»		902
General strew steam Shipping company.	7.5	9,0	*Maudslay.	1845	annulaire.	tubulaire.	274
	7,5	9.0	Maudslay.	1846	»	»	320
	9,0	10,5	Maudslay.	1848	»	»	432
	7,5	9,0	Penn	1846	oscill.	»	294
	11,0	12,0	Smith et Rodger.	1850	directe.	»	1044
Cork steam Shipping company.	7,0	11,5	Cork company	1846	»	»	480
	8,5	11,0	»	1848	»	»	1449
	10,0	12,0	»	1850	»	»	1046
	11.0	12,5	Wingate.	1852	»	Lamb.	1736
	9,0	11,0	Rennie.	1847	oscill.	tubulaire.	547
	9,0	11,0	Thomson.		directe.	»	490
	10,0	12,0	»		»	»	746
	8,0	»	Laird et C°.		»	»	637
Ulster Canal C°.	10,0	12,0	Watt et C°.		»	»	796
Dublin et Liverpool.	9,5	11,0	Wingate.		balancier.	»	444
	11,0	12,5	Smith et Rodger.		verticale.	»	686
Bristol	11,0	11,0	Lunnel.	1850	directe.	»	1096
Pawing C°.	9,0	9,0	Napier.	1840	clocher.	»	472
Bristol screw C°.	11,0	12,0	Stothert et Slaugter.	1844	directe.	»	232
	12,0	15,0	»	»	»	»	287
Cardiff C°.	13,0	13,0	»	1851	»	»	1406
	11,0	11,0	J. T. Price.	1850	»	»	594
City of Dublin.	6,0	9,0	Fawcett.		oscill.	»	409
	6,0	9,0	»		»	»	409
Levant steam Shipping company.	10,0	12,0	R. Napier.		engrenag.	»	1054
	11,0	13,0	Smith et Rodger.		»	»	1043
	7,5	10,0	»		»	»	832
	10,5	12,0	R. Napier.		»	»	978
	11,25	11,0	Smith et Rodger.		»	»	1435
Liverpool et Philadelphie.	9,0	12,5	Mac Gregor.		balancier.	»	938
	10,0	12,0	»		»	»	2185
Limerick.	11,0	12,0	Tallock et Denny.		»	»	1535
	8,0	10,0	Laird et C°.		directe.	»	255
	9,5	11,0	Smith et Rodger.	1850	clocher.	»	652
	10,5	12,0	R. Napier.	1852	balancier.	»	574
Carron Clyde company.	10,0	11,5	Smith et Rodger.	1851	verticale.	»	900
	6,5	9,0	Pim.	1852	locomot.	»	458
	8,0	10,0	Thomson.	1851	directe.	»	365
	8,5	12,0	Coates et Gomy.	1851	»	»	297
	15,0	16,0	M. Nab et Clarke.	1852	oscill.	»	1593
	8,0	12,0	Laird.	1848	directe.	»	424
	8,0	12	»	1851	engrenag.	»	1245
	8,5	10	James Watt.	1862	directe.	»	717

* Ces bâtim[...]et naviguent depuis 1844.

Les



UTPAQUEBOTS A VAPEUR, A ROUES A AUBES.

	RAPPORT de la puissance au tonnage.	CONSOMMATION par jour.	CONSOMMATION par heure.	VITESSE A LA VAPEUR.	VITESSE A LA VOILE et à la vapeur.	UTILISATION relativement au charbon brûlé.
		T	K			
	2,62	20,5	852	7,4		258
	2,66	16,2	685	8,0		408
	2,67	26,5	1145	9,0		502
Comp	3,79	48,1	2040	10,0		982
or	3,98	12,3	520	7,4		354
	4,27	38,4	1620	9,4		986
	2,50	37,2	1673	10,0		693
	4,45	22,10	964	9,4		1046
	4,30	35,2	1504	8,6		768
Roy	3,87	42,2	1796	9,0		706
	4,72	35,4	1610	9,0		913
	4,28	38,3	1622	8,75		764
	2,90	22	916	9,0	10,0	369
	3,74	25	1044	9,0	9.2	582
	3,28	24	875	10,0	11,0	450
	2,62	36	1500	10,6	11,5	861
	2,41	36	1500	10,5	11,5	700
	3,38	30	1250	10 0	10,5	640
	2,30	30	1250	9,5	11,0	680
	2,24	32	1333	9,5	11,0	520
	4,89	24	1000	12,0	12,0	876
	2,42	9	376	8,5	9,0	417
	2,84	6	260	9,0	9,0	353
Lon	3,07	16	666	7,0	8,0	458
Lon	2,77	16	666	8,5	9,6	361
Lon	2 66	17	708	8,0	9,0	227
Lon	4,20	22	916	8,0	9.0	444
Lon	2.70	24	1000	8,0	9,0	242
Lon	2,38	30	1260	11,0	12,0	309
Lon	4,96	31	1294	10,0	11,0	547
Lon	4,77	30	1250	9,0	12,0	447



TABLEAU N° V.

UTILISATION ÉCONOMIQUE D'APRÈS LES RAPPORTS SOMMAIRES. — NAVIRES A ROUES A AUBES.

NOMS des NAVIRES.	PUISSANCE nominale.	LONGUEUR entre perpendiculaires.	LARGEUR au maître.	CREUX.	SURFACE du maître-couple immergé.	TIRANT D'EAU moyen.	DÉPLACEMENT en charge.	DIAMÈTRE des cylindres.	COURSE.	NOMBRE de coups de piston.	UTILISATION. Année 1852. Vitesse en nœuds.	Année 1852. Charbon brûlé en une heure.	Année 1852. Utilisation.	Année 1853. Vitesse en nœuds.	Année 1853. Charbon brûlé en une heure.	Année 1853. Utilisation.	1er trimestre 1854. Vitesse en nœuds.	1er trimestre 1854. Charbon brûlé en une heure.	1er trimestre 1854. Utilisation.
		m	m	m	m²	m	tonn	m	m.			kil.			kil.			kil.	
Descartes	540	70,44	12,40	5,45	55 86	5,59	3023	2,058	2,29	»	»	»	»	7',73	2268	45,9	»	»	»
Mogador	550	70,95	12,20	6,05	51,58	5,34	2736	1,80	3,00	19,2	9',2	2307	52,45	»	»	»	»	»	»
Asmodée	450	70,95	12,20	6,05	51,55	5,34	2735	1,93	2,29	15,3	8,4	1215	95,50	»	»	»	8',2	1594	53,65
Gomer	»	70,95	12,20	5,05	51,58	5,34	2735	»	»	»	6,6	1215	45,23	7,9	1135	84,96	»	»	»
Labrador	»	59,00	11,80	5,95	»	5,15	2504	1,93	2,30	15,3	7,9	1549	54,96	8,25	1557	52,24	»	»	»
Magellan	»	69,00	12,00	5,95	»	5,15	2601	1,93	2,91	15,5	7,1	1808	37,44	»	»	»	»	»	»
Montézuma	»	59,00	12,05	5,05	50,95	5,31	2631	1,93	2,27	15,4	»	»	»	7,83	1585	54,3	6,3	1584	30,08
Orénoque	»	69,00	11,80	5,95	»	5,15	2500	1,93	2,33	15	7,4	1384	53,93	5,3	1207*	87,25	8,3*	1065	98,89*
Eldorado	»	59,00	11,80	6,05	50,52	5,25	2596	2,00	2,00	16,5	5,5	1215	45,90	5,85	1094	34,56	»	»	»
Albatros	»	59,00	12,05	6,05	»	5,34	2590	1,93	2,30	15,4	»	»	»	7,5	1696	46,94	7,3	4933	30,45
Sané	»	71,00	12,40	6,15	51,96	5,35	2720	2,00	2,00	15,6	8,0	1452	58,24	»	»	»	»	»	»
Canada	»	59,00	11,50	5,00	50,70	5,15	2525	1,93	2,30	16,3	»	»	»	8,7	1542	33,97	7,1	1870	35,3
Christophe-Colomb	»	59,00	11,80	5,95	50,87	5,15	2505	1,93	2,30	16,3	7,9	2025	44,94	8,1	2223	44,09	7,7	1646	42,4
Caffarelli	»	54,00	10,70	6,45	42,91	5,02	1890	2,00	2,00	19	6,0	1497	40,94	6,05	1231	44,50	4,5	979	30,4
*Infernal***	400	52,00	10,80	5,78	42,74	4,90	2034	1,50	4,75	15,5	»	»	»	5,3	2384	45,54	»	»	»
Colbert	320	57,70	10,20	5,85	29,83	4,30	1293	»	»	»	7,1	1424	29,83	6,5	1040	32,27	»	»	»

Corvettes de 220 chevaux.......	5,680	883	29,28	156,05	0,121
Corvettes de 200 chevaux.......	7,833	943	34,23	120,40	0,211
Corvettes de 160 chevaux.......	5,474	687	22,206	125,50	0,161
Avisos de 120 chevaux.......	5,680	600	20,75	105,60	0,212
Avisos de 100 chevaux.......	6,220	405	33,73	59,53	0,209





TABLEAU N° VI.

NAVIRES A HÉLICE. — UTILISATION ÉCONOMIQUE D'APRÈS LES RAPPORTS SOMMAIRES.

NOMS DES NAVIRES.	NOMBRE de chevaux.	LONGUEUR entre perpendiculaires.	LARGEUR au maître-couple.	CREUX.	SURFACE du maître-couple.	TIRANT d'eau moyen.	DÉPLACEMENT en charge.	DIAMÈTRE du cylindre.	COURSE.	NOMBRE DE COUPS de piston.	Utilisation relativement au charbon. Année 1852. Vitesse en nœuds.	Année 1852. Charbon brûlé en une heure.	Année 1852. Utilisation.	Année 1853. Vitesse en nœuds.	Année 1853. Charbon brûlé en une heure.	Année 1853. Utilisation.	1er Trimestre 1854. Vitesse en nœuds.	1er Trimestre 1854. Charbon brûlé dans une heure.	1er Trimestre 1854. Utilisation.
		m.	m.	m.	m².	m.	T.					kil.			kil.				
Charlemagne..	400	60,10	16,24	8,15	92,00	7,44	4100	1,30	1.0	44	5,77	2698	18,24	5,72	2218	24,61	»	»	»
Jean-Bart....	450	63,60	16,26	8,05	92,45	7,40	4069	1,30	0,90	45	»	»	»	7,09	2236	40,62	»	»	»
Pomone......	220	52,09	13,00	6,70	»	5,85	1925	1,47	1,17	38	5,7	880	32,44	4,57	917	16,04	»	»	»
Rolland.....	400	52,92	12,20	6,70	38,40	4,65	1299	1,20	1,00	41	9,1	700	111,1	8,73	1151	68,82	»	»	»
Caton.......	260	54,00	9,25	5,55	22,58	3,57	900	1,12	1,40	»	7,6	1118	22,22	6,1	1012	20,87	6,4	754	32,36
Chaptal.....	220	53,30	9,50	6,08	25,00	3,60	950	»	»	»	8,1	1041	49,34	7,95	1289	37,67	6,0	1012	20,63
Pélican.....	120	40,00	7,00	3,86	9,97	2,56	255	1,12	0,96	30	8,5	540	44,73	6,35	590	17,45	»	»	»
Salamandre..	120	35,00	6,50	3,60	11,12	2,78	256	1,03	0.92	46	7,63	415	43,46	7,32	482	32,76	»	»	»
Ariel.......	120	40,00	6,60	3,50	9,53	2,44	225	1,11	1,02	36	8,00	360	52,61	»	»	»	»	»	»
*Faon**......	120	40,50	6,19	»	8,17	1.975	188	1.05	0,91	»	12,3	799	76,43	»	»	»	»	»	»
Corse.......	120	47,52	8.52	4,25	13,40	2.92	364	1,143	1.067	»	»	»	»	7,6	624	34,20	»	»	»
Chacal......	60	31,42	5,46	3.83	»	3.00	253	0,82	0,92	»	6,27	377	26,44	5,52	318	21,41	»	»	»
Pingouin....	30	33,00	5,50	2,75	»	1,58	127	0,48	0 50	80	5,2	190	48,68	6,60	189	23,48	»	»	»

* L'utilisation du *Faon* est calculée d'après le temps mis à parcourir la distance entre Calais et Douvres en toutes saisons et le charbon consommé, déduit de plusieurs années de service (voir pages 133 et 400).





' VI *bis*.

DES MESSAGERIES IMPÉRIALES DE FRANCE.

DÉPLACEMENT en charge.	DIAMÈTRE du cylindre.	COURSE du piston.	ANN[...] TRIMESTRE 1854. COUPS de piston par minute.	VITESSE en nœuds.	par lieue marine.	CHARBON brûlé en une heure.	UTILISATION.
HÉLICE.							
2583	m. 4,604	4,372		»	l. 0	kil. 4755	408,8
2748	4,600	4,200		»	5	4444	424,2
2843	4,400	0,942		»	8	4657	449,6
ES A AUBES.							
4424	4,580	4,840	20,55		0	4579	84,48
4424	4,580	4,840	20,70		9	4593	86,52
4034	4,430	4,500	24,44	8,37	0	4404	66,94
Id.	Id.	Id.	20,06	9,09	8	4442	53,62
Id.	Id.	Id.	20,48	8,23	3	4440	54,59
Id.	Id.	Id.	20,46	9,05	4	4489	58,69
Id.	4,442	Id.	20,90	8,30	4	4465	62,48
Id.	Id.	Id.	22,66	8,40	6	4439	79,03
587	B[d] 4,420 T[d] 4,425	4,700	24,34		2	4434	40,29
559	4,340	4,420	25,20	9,09	6	973	49,83
Id.	Id.	Id.	25,47	9,48	8	894	60,47
567	Id.	Id.	25,00		2	4048	39,59
587	B[d] 4,420 T[d] 4,425	4,700	22,40	8,85	4	4052	44,48
774	4,225	4,370	48,48	7,85	0	792	43,37
Id.	Id.	Id.	49,20	7,44	0	863	34,72



TABLEAU N° VII.

NAVIRES A HÉLICE. — UTILISATION ÉCONOMIQUE D'APRÈS LES EXPÉRIENCES DE RECETTE DES MACHINES.

NOMS DES NAVIRES.	SURFACE immergée du maître-couple.	DÉPLACEMENT.	VITESSE en nœuds.	CHARBON brûlé dans une heure.	UTILISATION relativement au charbon.	CHARBON brûlé pour parcourir un mille.	CHARBON BRULÉ pour transporter un tonneau de déplacement à un mille, sans avoir égard à la vitesse.
	m²	tonn.		kilog.		kilog.	kilog.
*Napoléon.**	98,8	5050	13,5	6080	119,1	450,4	0,089
	»	»	12,0	4040	400,0	336,6	0,066
	»	»	10,0	2445	121,9	244,5	0,048
	»	»	8,0	1375	109,6	192,0	0,038
*Charlemagne.***	92,2	1400	9,5	2600	84,05	274	0,067
*Jean-Bart.****	93,45	1069	9,12	2600	71,36	282,6	0,066
*Roland.*****	37,4	1299	12,5	2000	116,3	160,0	0,123
	»	»	8,56	854	87,44	99,76	0,077
*Ariel.******	9,53	225	7,3	250	57,53	34,24	0,152
	»	»	8,2	350	59,64	42,68	0,189
	»	»	9,1	400	69,70	43,93	0,195
	»	»	9,5	550	57,67	57,90	0,257
	»	»	10,5	700	61,19	66,66	0,295
	»	»	11,3	800	66,74	70,80	0,317
	»	»	12,0	950	67,30	79,46	0,353

* Voir page 421.
** Voir page 413.
*** Voir page 425.
**** Voir page 417.

***** Les chiffres relatifs à l'*Ariel* sont tirés du rapport sommaire du capitaine Beaulieu; ils sont établis pour toutes les détentes depuis un dixième d'introduction jusqu'à la marche à toute vapeur, qui répond à 0,7.

N. B On n'a noté que les navires portés ci-dessus, parce que les rapports des expériences de recette des autres bâtiments ne font pas mention du charbon brûlé.



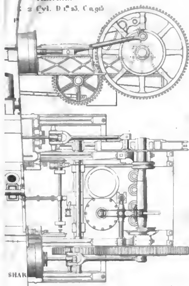
…BRE DE TO… de la MACHINE. … moyen par 1'. …0.	…EUR …e …c/m. …0.	UTILISATION par la formule $\frac{KB^2V^3}{7,117 D^2 CN(p-6)}$. 21.	NOMBRE de CHEVAUX utilisés au moment où l'on a pris les courbes. 22	VALEUR du coefficient m dans la formule $V^3 = m\sqrt[3]{\frac{F}{B^2}}$. 23	NATURE DU CHARBON employé et consommé par jour. 24.	CONSOMMATION MOYENNE DE CHARBON par heure et par cheval. 25.	NOMBRE DE LITRES D'EAU vaporisée DANS LES CYLINDRES. Total par heure. 26.	Par cheval et par heure. 27.	Par kilogrammes de charbon. 28.
					tonn.	kilog	lit.	lit.	lit.
31,09	36	K 0,426	246,6	4,78	New-Castle.	»	»	»	»
37,07	17	K 0,400	439,3	4,49	»	»	»	»	»
30,24	50	K 0,424	227,2	4,70	»	»	»	»	»
35,87	40	K 0,424	367,0	4,78	»	»	8698	23,70	»
39,95	43	K 0,425	497,0	4,83	50,50	4,28	11484	23,4	5,44
41,59	46	K 0,429	577,4	4,90	48,00	3,58	12375	22,2	6,20
20,55	57	K 0,430	204,4	4,80	20,496	4,03	4415	24,60	6 36
24,34	27	K 0,445	422,9	4,87	»	»	2827	23,00	»
						kilog	lit.	kilog.	lit.
43,44	4	K 0,0934	495,5	4,369	Cardiff.	4,77	12,726	25,8	4,24
45,87	8	K 0,2035	509,8	5,657	Idem.		13,038	25,5	4,38
45,42	2	K 0,1226	648,5	4,655	New-Castle.	5,07	140,28	25,6	4,67
45,28	1	K 0,1934	564,4	5,577	Idem.		149,58	24,9	4,68
		Moy. K 0,1534							
					tonn.	Par cheval effectif.	kilog.	Par cheval effectif.	kilog.
47,364	563	K 0,073	635,80	4,001	Cardiff.	4k,00	12,009	22k,432	6,59
49,712	535	K 0,096	523,04	4,429	54,00	»	13,465	23 ,095	6,27
48,634		K 0,084	»	»	»	»	»	»	»
49,346	336	K 0,095	574,66	4,443	»	»	12,406	24 ,586	»
46,745	265	K 0,0496	582,06	3,293	»	»	13,028	22 ,370	»
49,949	547	K 0,443	588,89	4,608	»	»	12,903	24 ,940	»
»		K 0,077	»	»	»	»	»	»	»
34,743	383	K 0,103	240,38	4,425	»	»	5 922	28 ,475	»
35,447	570	K 0,056	239,35	3,636	»	»	6,459	26 ,984	»
»		K 0,080	»	»	»	»	»	»	»

PARCOURS.	NOMBRE … Total pendant le parcours. 11.	NOMBRE DE CHEVAUX de … pression au moment des courbes $\frac{…D^2 cNp\ c/m}{…59 \times 63\ c/m}$ F. 33.	NOMBRE de CHEVAUX nominaux. 34.	VALEUR de m dans la formule $V^3 = m\sqrt[3]{\frac{F}{B^2}}$. 35	NATURE du CHARBON EMPLOYÉ. 36.	CONSOMMATION de CHARBON par 24 heures. 37.	CONSOMMATION par heure et par cheval effectif. 38	NOMBRE DE LITRES D'EAU vaporisée DANS LES CYLINDRES. Par heure. 39.	Par cheval effectif et par heure. 40.	Par kilog. de charbon. 41
						tonn.	kilog.			
…5	13,341	10,29	776	5,58	New-Castle et Cardiff.	96,000	3,89	26,132	25,39	6,53
	»	4,63	562	»	Cardiff.	50,400	4,53	13,501	29,45	6,43
	45…	4,95	589	»	Idem.	»	»	13,713	27,70	»
48	50…	4,47	548	»	Idem.	»	»	14,546	27,70	»
	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	»	12,30	844	5,34	»	»	»	33,730	27,44	»
30	65…	11,38	809	6,43	»	»	»	»	»	»
40	65…	10,32	779	5,39	»	»	»	»	»	»
5	65…	10,83	794	5,44	»	»	»	»	»	»
30	4,30…	6,24	653	5,86	New-Castle.	70,000 p[r] 18 tours et 612 ch[x]	4,75	15,747	25,68	5,39
51	9,30…	6,95	625	4.99	Idem.		»	»	»	»
	»	»	643	5,43	»	»	»	»	»	»
	»	»	»	6,45	»	»	»	»	»	»
6	»	44,75	874	6,63	New-Castle.	»	»	38,838	22,95	»
…	»	»	»	5,59	»	»	»	»	»	»



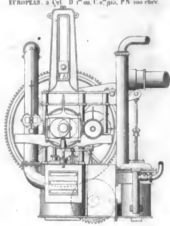
RENNIE.

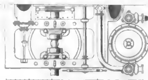
2 Cyl. D 1m 23. C 0,915



SMITH ET RODGER.

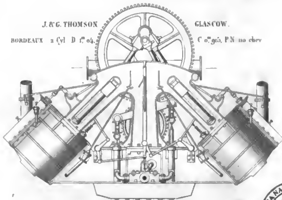
EUROPEAN. 2 Cyl D 1m 00. C 0m 915. P.N 100 chev.



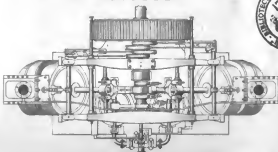


J. & G. THOMSON GLASGOW.

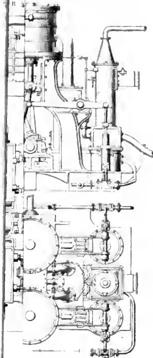
BORDEAUX 2 Cyl D 1m 04. C 0m 915. P.N 110 chev

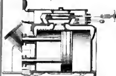


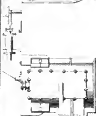


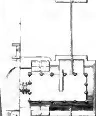


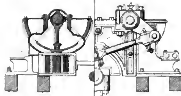
Gravé par Barbier

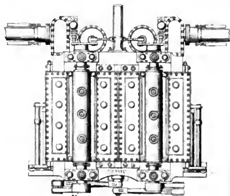


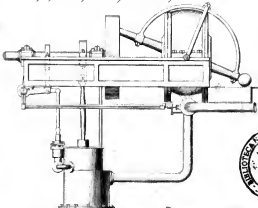


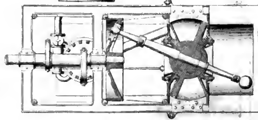














Gravé par Marlier

...URBES DE DYNAMOMÈT...

...re de l'arbre en tonneaux anglais multipliez la



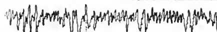
30 Mars à $9^h 45$ m., 2e rame de déten





30 Mars 10^h m 2e





31 Mars, 10^h 35 m Brise debo





31 Mars 3^h 50 s brise debout





1er Avril 11^h m brise de





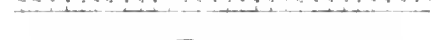
5 Avril, 10^h 30' m l'Alecto étant





3 Avril 6 coups de piston Courbe





3 Avril. Les navires amarrés par l'arrière





3 Avril 7^h 10's Avec la plus





3 Avril 8^h Avec le moi





8 Avril 11^hm Vent de quatre quarts





10 Avril 10^h 30'm Essai contre une grosse



RATTLER.

Mars courbe prise a 9h 45 M 23 3/4 coups de piston 2e came de detente repondant a la courbe A du Dynamometre

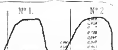
31 Mars N° 1 pris à 10h 15 m 22 coups de piston 4 1/2 nœuds N° 2 pris à 10h 45 m. 23 coups 6 nœuds N° 3 pris a 3h 30 soir 25 coups. 8 8 nœuds. N° 2 repond a la courbe du dynamometre C N° 3 a celle D.



1er Avril a 11h m à toute vapeur, 26 coups de piston 10 nœuds



3 Avril N° 1 Alecto a la remorque vapeur 0h 35i 24 1/2 coups de piston 7,05 nœuds N° 2 les navires attaches par l'arriere, 19 coups 2,8 nœuds



3 Avril a 7h 30 soir avec la plus grande detente 21 coups de piston 8 3/4 nœuds repond a la courbe du Dynamometre E



3 Avril a 8h avec le moins de vapeur possible coups de piston 4 nœuds courbe du Dynamometre K



8 Avril N° 1 pris a la pression basse 2e came de detente 23 1/2 coups de N° 2 pris a 4h



PL. V.



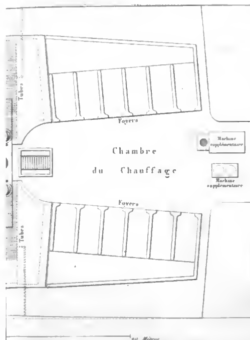
Cheminée de la petite chaudière

Tube conduisant l'air au Ventilateur

Chaudières

Boite à Tubes

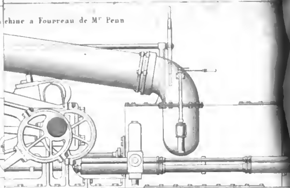
Machine supplémentaire

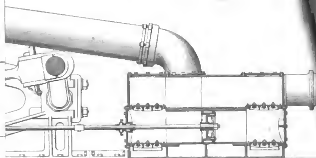




Gravé par Marlier

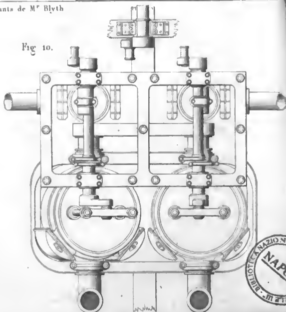
hhaudières Mrs chine à Fourreau de Mr Penn





...ndres oscillants de Mr Blyth

Fig 10.





Gravé par Ma...



LASCOW.

Diametre des
Longueur de
Puissance no
Diametre de
Pas
Longueur de l
Nombre d'A
Multiple de

PLAN

CERCLE DE L'HELICE

Tuyau de decharge

Tuyau

Entretoise

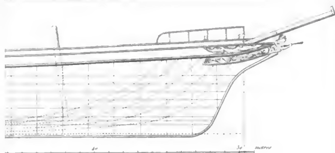
Entretoise

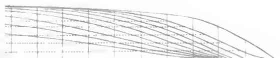
CYLINDRE

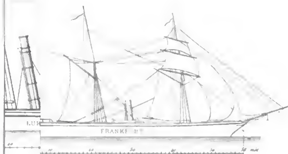
7 mètres

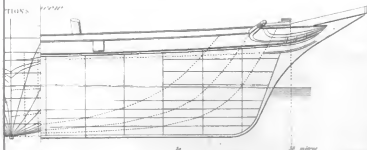
Gravé par Marker








FRANKF

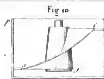


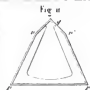



BIBLIOTECA NAZIONALE
VITTORIO EMANUELE III
NAPOLI

tiravo par Marbier

Fig 9


Fig 10


Fig 11

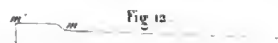

Fig 12

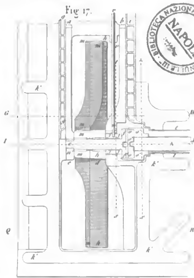
Fig 13

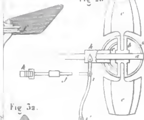
Sections

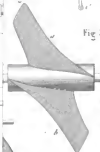

Fig 18


Fig 19




Fig 17.


Fig 28


Fig 32.

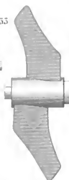

Fig 33


Fig 20

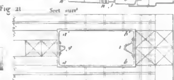

Fig 21


Fig 22


Fig 23

IÈRE DU

Fig. 26.

Gravé par Marlier

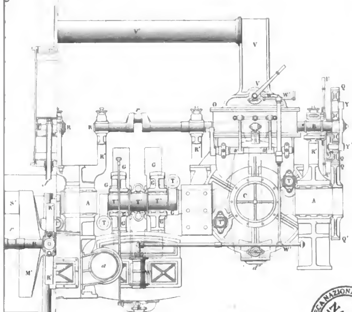
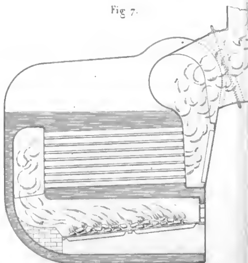
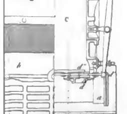




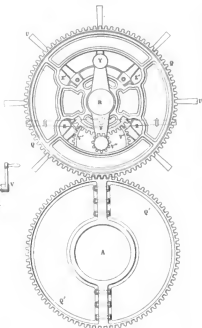
Fig 7.

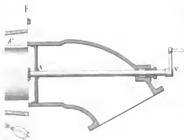




Gravé par Marli

Fig. 17





16

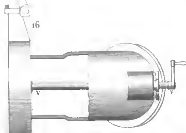
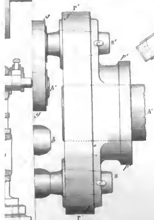




Fig. 20.



Fig. 19



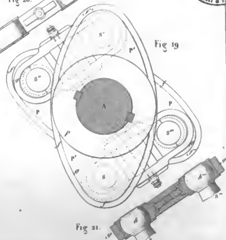
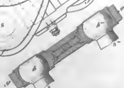
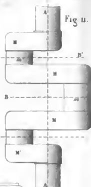


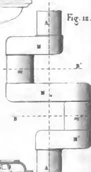
Fig. 21.

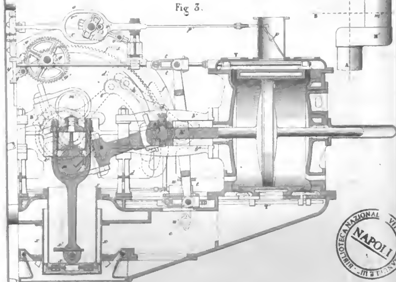


Gravé par Martier

Fig. 2.

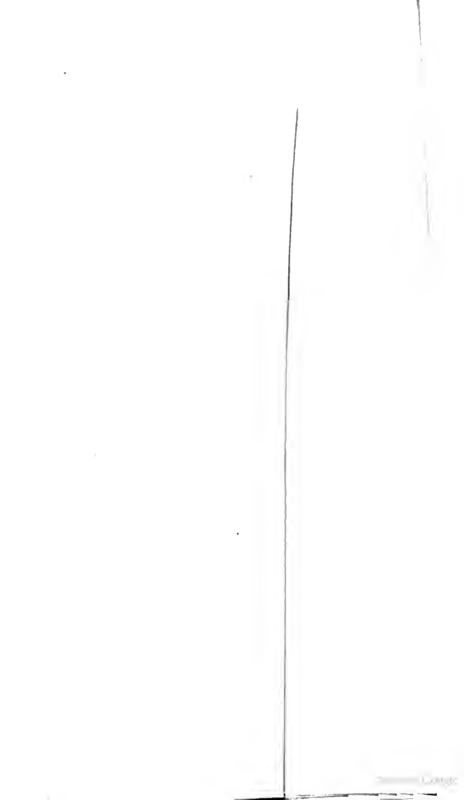

Fig. 11.


Fig. 12.


Fig. 3.



Gravé par Martier



PL. XIV

Fig. 3.

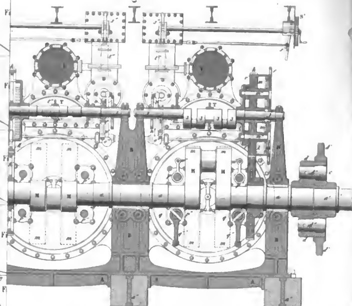
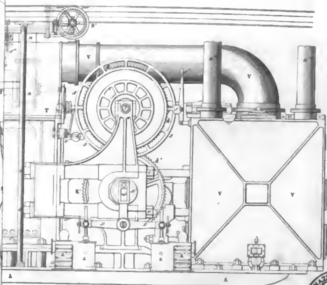


Fig. 4.





Gravé par Marlier





